

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
UNAN-Managua
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología
Ingeniería Geológica



Monografía para optar al Título de Ingeniera Geóloga

**“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas
de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”**

Realizada por: Suyen Yaoska López López

Tutor: Prof. Dionisio Rodríguez Altamirano

Managua, Octubre de 2011

DEDICATORIA

A Dios nuestro señor por darme la oportunidad de concluir satisfactoriamente uno de mis sueños más anhelados.

Al ángel más bello que está en el cielo, la mujer que me dio la vida y me enseñó a ser mejor cada día... a mi madre Socorro López Téllez, con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi padre Humberto López, mis hermanas Jeaneth, Jackelinne, Denia y Rosa, a mis sobrinos que me han apoyado a lo largo de esta larga jornada, en especial a Jaxel por haberme acompañado en mis noches de desvelo.

Agradezco profundamente a mi tutor Prof. Dionisio Rodríguez, por su paciencia y apoyo incondicional, al Ing. Bismarck Santana, por su ayuda en el momento más oportuno, a los profesores Marvin Valle, Edmundo Aguirre, Glen Hodgson, Antonio Álvarez, Lener Sequeira, Ernesto Luna y Brenda Leytón por sus valiosos consejos y sugerencias.

Al Instituto de Geología y Geofísica, por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis y al personal que labora en el, por su amistad y apoyo brindado durante la su desarrollo.

Agradezco profundamente a Francisco Espinoza por compartir sus conocimientos y brindarme sus valiosos consejos en la elaboración de este trabajo.

Un agradecimiento especial a la profesora Mireya Pérez, de la Universidad de Cuba, por brindarme sus conocimientos en petrografía, al prof. Luis Altamirano, por su dedicación en mineralogía y al prof. Luis Salazar por compartir sus conocimientos en geomorfología.

A mis amigos Scarleth Marengo, Parelis Sánchez, Mayela Martínez, Petronila Flores, Marjorie Toruño, Francisco Vásquez y Licette Hernández, por su invaluable amistad y cariño.

A Octavio Jiménez, por su amor, comprensión y apoyo constante.

Gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra me ayudaron a alcanzar una de mis metas.

RESUMEN

El área de estudio que comprende las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, se ubica dentro de la Región central de Nicaragua, ocupando parte de los departamentos de León, Chinandega y Estelí. Está constituida por un basamento andesítico de edad Terciaria, sobreyacida por extensas capas de coladas de lava dacítica, tobas, brechas e ignimbritas, la mayoría de las cuales están siendo cortadas por cuerpos plutónicos que varían en composición desde cuarzodioritas y granodioritas hasta granitos.

Geomorfológicamente, el área está definida por una serie de montañas con elevados escarpes de hasta 1200 m.s.n.m, con pendientes mayores de 45°, estos frentes montañosos coinciden con escarpes de fallas y flancos de relictos de estructuras caldéricas emplazadas en el área, las cuales fueron corroboradas mediante el análisis estructural, geológico y geomorfológico.

Como consecuencia de una intensa actividad tectónica durante el Terciario se generaron una serie de estructuras complejas y de gran interés tanto geológico como estructural, entre las que se destacan fallas y edificios volcánicos emplazados a través de zonas de debilidad estructural, ubicadas de forma paralela a la Depresión de Nicaragua.

La caracterización estructural de área, señala la presencia de cuatro principales fases de fallamiento, las cuales obedecen a fallas de dirección N-S, NE-SW, E-W y NW-SE, mostrando una clara rotación en el mismo sentido de las manecillas del reloj, las cuales fueron activas por movimientos normales yuxtapuestos con una componente lateral derecha.

INDICE

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Localización y acceso	2
1.3 Antecedentes	4
1.4 Metodología	6
CAPITULO II	
TECTONICA DE AMERICA CENTRAL	13
CAPITULO III	
GEOLOGIA REGIONAL DE NICARAGUA	17
CAPITULO IV	
GEOLOGIA LOCAL	20
4.1 Unidad de Andesitas	22
4.2 Unidad de Tobas andesíticas	26
4.3 Unidad de Brechas andesíticas	30
4.4 Unidad de Dacitas	31
4.5 Unidad de Tobas dacíticas	36
4.6 Unidad de Ignimbritas dacíticas	38
4.7 Unidad de Riolitas	40
4.8 Unidad de Rocas intrusivas	43
4.8.1 Sub-unidad de Cuarzodioritas	44
4.8.2 Sub-unidad de Granodioritas	45
4.8.3 Sub-unidad de Granito	46
4.9 Unidad de Depósitos Aluviales	48
CAPITULO V	
GEOMORFOLOGIA	49
5.1 Unidad de Colinas Denudacionales	51
5.2 Unidad de Origen estructural	52
5.2.1 Sub-unidad de Mesas	52
5.2.2 Sub-unidad de Domos	54
5.3 Unidad de Origen volcánico	55
5.3.1 Sub-unidad de Coladas de lava	55
5.3.2 Sub-unidad de Remanentes de caldera	56
5.4 Unidad de Colinas volcánicas	58
5.5 Unidad de Origen intrusivo	59
5.6 Unidad de Origen fluvial	60
5.6.1 Sub-unidad de Llanuras aluviales	60
5.6.2 Sub-unidad de Terrazas fluviales	61
CAPITULO VI	
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	63
6.1 Consideraciones Teóricas	65
6.1.1 Criterios de cizalla sobre planos de falla	66
6.2 Caracterización Estructural	76
6.2.1 Fase de fallamiento N-S	77

6.2.1.1 Falla Las Tablas	78
6.2.1.2 Falla El Guanacaste	81
6.2.2 Fase de fallamiento NE-SW	83
6.2.2.1 Falla La Pimienta	83
6.2.2.2 Falla El Guaylo	84
6.2.2.3 Falla Monte Frío	86
6.2.2.4 Falla La Calera	89
6.2.2.5 Falla La Guaruma	91
6.2.2.6 Falla Los Playones	94
6.2.2.7 Falla El Porvenir	96
6.2.3 Fase de fallamiento E-W	98
6.2.3.1 Falla La Flor	98
6.2.3.2 Falla Santa Teresa	99
6.2.4 Fase de fallamiento NW-SE	102
6.2.4.1 Sub-fase NW de alto ángulo	102
• Falla El Guasimito	102
• Falla El Tule	104
• Falla La Consulta	105
• Falla El Rodeíto	107
• Falla El Jiñocuao	109
• Falla Achuapa	111
6.2.4.2 Sub-fase NW de ángulo medio	112
• Falla Somotillo	113
• Falla Los Balcones	115
6.2.4.3 Sub-fase NW de bajo ángulo	116
• Falla Los Araditos	116
• Falla El Danto	117
6.3 Depresión tectónica de Achuapa	119
6.4 Calderas	120
6.4.1 Caldera de Achuapa	120
6.4.2 Caldera San Juan de Limay	122
6.4.3 Caldera El Guaylo	109
6.4.4 Caldera Piedras Gordas	124
6.4.5 Caldera Monte Frío	126
6.4.6 Caldera El Danto	127
6.4.7 Caldera La Danta	127
CAPITULO VII	
DISCUSIÓN	129
CAPITULO VIII	
CONCLUSIONES	132
CAPITULO IX	
RECOMENDACIONES	135
CAPITULO X	
REFERENCIAS	136
ANEXO	140
Anexo 1. Mapas Complementarios	141
Anexo 1.1 Mapa de curvas de nivel de Somotillo y Achuapa	141


Anexo 1.2 Mapa Altimétrico de Somotillo y Achuapa	142
Anexo 1.3 Modelo sombreado de Somotillo y Achuapa	143
Anexo 1.4 Mapa de pendientes de Somotillo y Achuapa	144
Anexo 2. Descripción Macroscópica de las rocas de Somotillo y Achuapa	145
Anexo 3. Clasificación geomorfológica de Somotillo y Achuapa	147
Anexo 4. Levantamiento estructural en el área de Somotillo y Achuapa	148
Anexo 5. Mapas a escala 1/50,000	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localización del área	3
Figura 2. Elaboración de rosetas de fracturas en Spheristat	12
Figura 3. Mapa Geotectónico de Centroamérica y del Caribe	14
Figura 4. Mapa Geológico de Nicaragua	17
Figura 5. Mapa Geológico de Somotillo y Achuapa	21
Figura 6. Mapa Geomorfológico de Somotillo y Achuapa	49
Figura 7. Mapa estructural de Somotillo y Achuapa	64
Figura 8. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas	65
Figura 9. Esquema de estructuras generadas por cizallamiento	68
Figura 10. Estructuras en Dominó	69
Figura 11. Fracturas extensivas y compresivas	70
Figura 12. Fracturas secundarias R y P	71
Figura 13. Sigmoides	72
Figura 14. Clastos Rotados	73
Figura 15. Estrías de desplazamiento	73
Figura 16. Escalones	74
Figura 17. Zonas de Relevó	74
Figura 18. Vetillas Escalonadas	76

TABLAS

Tabla 1. Coordenadas (UTM) del área de estudio	2
Tabla 2. Morfometría de remanentes de calderas	58



*"Medir lo que puede ser medido y hacer
medible lo que no puede ser medido"*

G. Galilei

Suyen Yaoska López

CAPITULO

INTRODUCCIÓN

El Territorio Nicaragüense ha sido sometido a esfuerzos de extensión y compresión, como consecuencia de continuos movimientos tectónicos causados por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe, estos esfuerzos se evidencian en extensas áreas deformadas por fallas y fracturas, localizadas principalmente en el área noroccidental de Nicaragua.

Somotillo y Achuapa, se localizan en la región NW de Nicaragua, en una zona de transición entre la Porción Central de Nicaragua y la Depresión Nicaragüense, siendo este último uno de los principales rasgos estructurales en Centroamérica; el área de estudio se localiza dentro de un cinturón de rocas volcánicas, depositadas como resultado de una intensa actividad volcánica durante el Terciario, litológicamente comprende rocas de composición basalto-andesita, intruídas por cuerpos plutónicos de composición intermedia-ácida, cuyo origen ha sido asociado al proceso de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe (Mc.Birney & Williams, 1965).

A nivel regional, el área central de Nicaragua ha sido dividida en 2 grandes grupos geológicos, siendo estos: Grupo Coyol y Grupo Matagalpa (Mc Birney & Williams, 1965), ambos caracterizados por la presencia de extensos depósitos de rocas volcánicas de edad Terciario (Parson Corporation,1972), siendo estas rocas las que predominan en el área de estudio.

En el área, se han definido patrones estructurales y estructuras volcánicas asociadas a la tectónica del Terciario en Nicaragua, cuya distribución es muy amplia, sin embargo a pesar de sus condiciones geológicas, las investigaciones no han proporcionado información de la cinemática y dinámica de las estructuras geológicas predominantes, por tanto, la caracterización estructural realizada en este estudio, brinda un aporte al conocimiento geológico - estructural del área, permitiendo determinar los esfuerzos que produjeron la deformación y ruptura de los cuerpos rocosos, debido a los movimientos tectónicos ocurridos desde el Terciario.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Caracterizar las estructuras geológicas en el área de Somotillo y Achuapa a escala semi-regional (1:50,000)

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir la geometría, cinemática y dinámica de las estructuras geológicas como: fallas, fracturas, diaclasas, relictos volcánicos y cuerpos intrusivos, que afectan a esta zona.
- Identificar las diferentes fases de fallamiento y deformación de las rocas en la región.
- Realizar un mapa geo-estructural a escala 1:50,000, mostrando las direcciones de los esfuerzos en el área de estudio.

1.2 Localización y acceso

El área de estudio se encuentra ubicada en la porción noroeste de Nicaragua, cubriendo aproximadamente 891 km² (Figura 1), en un área delimitada por las coordenadas (Tabla 1):

Coordenadas del área de estudio			
Somotillo		Achuapa	
N1455500	E500000	N1455500	E527000
N1437000	E500000	N1437000	E527000
N1437000	E527000	N1437000	E554000
N1455500	E527000	N1455500	E554000

Tabla 1. Coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) del área de estudio.

Se localiza a aproximadamente 210 km al noroeste de la ciudad capital Managua, entre los departamentos de Chinandega y León, está limitada por las hojas topográficas: Cinco Pinos y San Juan de Limay al norte, Villa Nueva y El Sauce al sur, Estelí al este; y con el vecino país Honduras al oeste, comprende las hojas topográficas de Somotillo, (2855-III) y Achuapa, (2855-II), a escala 1:50000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1988).

Al área de estudio, se llega desde Managua a través de la Carretera Panamericana que conduce a Chinandega, hasta el municipio de Somotillo, desde donde se toman caminos transitables en todo tiempo y trochas que conducen hasta el municipio de Achuapa. O bien por la Carretera Panamericana Norte hasta llegar a Estelí, posteriormente se toma un camino transitable en todo tiempo, que conduce a los poblados de San Juan de Limay y Achuapa; el área de estudio, cuenta con buena accesibilidad a través de carreteras pavimentadas, caminos transitables en todo tiempo y trochas, que hicieron posible el levantamiento y caracterización de las estructuras geológicas del área.

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achupapa, Noroeste de Nicaragua”

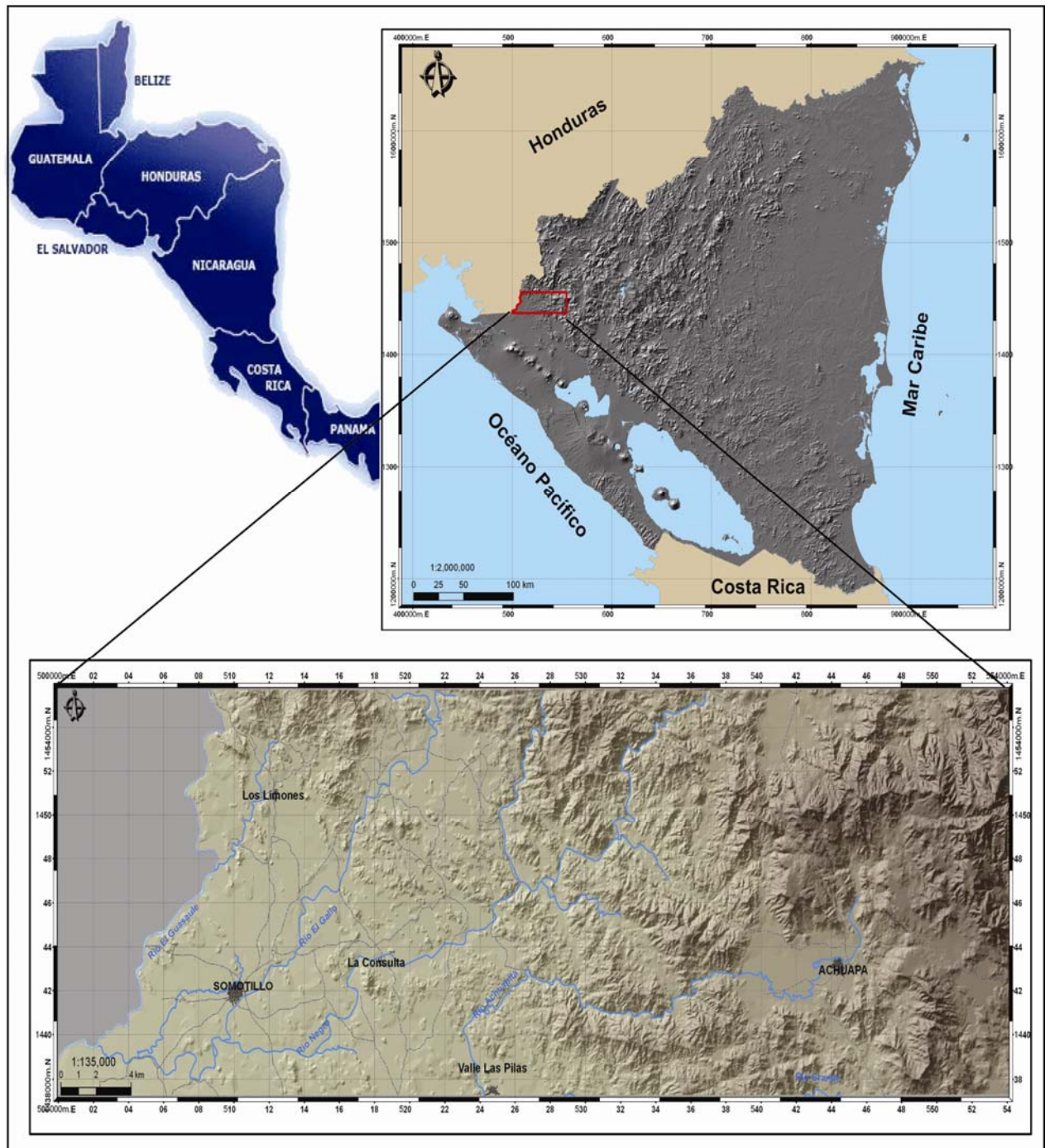


Figura 1. Mapa de Localización del área de estudio. A) Mapa de relieve sombreado de Nicaragua indicando el área de estudio B) Modelo de sombras del área de Somotillo y Achupapa.

1.3 Antecedentes

En el área de Somotillo y Achuapa, no se han realizado estudios enfocados a la caracterización estructural y al análisis de esfuerzos, sin embargo, diferentes autores han contribuido al conocimiento geológico del área, entre los que figuran:

Mc.Birney & Williams (1965): Estudiaron las rocas volcánicas Terciarias, ubicadas en la parte central del territorio Nicaragüense, determinando que pertenecen a un intenso vulcanismo ocurrido durante este período; cuya litología está representada por la presencia de flujos de cenizas, brechas laháricas, lavas andesíticas, lavas dacíticas, ignimbritas y delgadas capas de lava basáltica; en general, muestran que el Grupo Coyol está intruído por una variedad de cuerpos plutónicos, que varían en composición desde dacíticas hasta dioríticas.

Estructuralmente, proponen que el área de estudio, fue sometida a esfuerzos regionales, durante la última fase cíclica de actividad ígnea, generando fracturas de tendencia noreste, a lo largo de las cuales se alinearon algunas estructuras volcánicas.

Mc. Birney & Williams (1965) y Parson Corporations (1972): Le asignan el nombre de Grupo Coyol a las rocas que sobreyacen a la Serie Matagalpa y subdividen el Grupo Coyol en varias unidades litológicas: Coyol Superior, compuesta por lavas y aglomerados; la intermedia por ignimbritas y tobas y en la base, basaltos, andesitas y aglomerados; Coyol Inferior: compuesta por ignimbritas, dacitas y tobas e ignimbritas andesíticas; además dividen en dos al Grupo Matagalpa en: Matagalpa Superior y Matagalpa Inferior; de igual manera catalogaron los cuerpos intrusivos presentes en el área, los que incluyen diques, sills y pequeños domos.

Hodgson (1971): Aportó al levantamiento geológico semi-detallado, de la Planicie NW y de la Pre-coordillera Occidental, en el que señala el lineamiento y descripción de grandes extensiones de rocas ígneas intrusivas y le asigna al Grupo Matagalpa una edad Oligoceno Medio.

Weinberg (1992): Propuso que la evolución tectónica del Neógeno de Nicaragua se dio en tres fases de deformación, como sigue:

1) La primera fase que ocurrió en el Mioceno Superior, con esfuerzos de compresión en dirección NE-SW, dando lugar a plegamientos en dirección NW en los Llanos de la Costa del Pacífico, menciona que contemporáneamente se dio el inicio del vulcanismo del Grupo Coyol.

2) La segunda fase se desarrolló en el Plio-Pleistoceno y consistió en un cambio de posición de los ejes de los principales esfuerzos de la primera fase de deformación, donde los esfuerzos compresionales cambiaron a extensionales, dando lugar al fallamiento normal de dirección NW, que formó el sistema de fallas

de la Depresión de Nicaragua. A su vez la actividad volcánica migró gradualmente hacia la zona de subducción.

3) La tercera fase, aún sigue activa y es donde se produce la actividad de focos sísmicos superficiales, asociada al vulcanismo y a la estructura de pull-apart con dirección N-S, que se ubica en la ciudad de Managua.

Ehrenborg (1996): Presentó una nueva nomenclatura estratigráfica para los depósitos de los Grupos Coyol y Matagalpa, en la que determinó tres eventos volcánicos principales:

1- En el Oligoceno, se produjo el terreno ignimbrítico en la región Central, con predominio de vulcanismo de escudo.

2- Emisión de magmas basálticos a andesíticos a través de zonas de fracturamiento NE y NW, a lo largo de la Costa del Pacífico, crearon el arco volcánico del Grupo Coyol de orientación NW.

3- El evento volcánico producto de la migración al SW del arco volcánico Plioceno- Pleistoceno, dio origen al actual arco volcánico del Cuaternario.

Espinoza (2004): Elaboró una investigación para una parte de la porción sur de Achuapa, definiendo 6 Unidades litológicas: Unidad Basáltica, Unidad Andesítica, Unidad Dacítica, Unidad Riodacítica, Unidad Riolítica, atribuyendo estas unidades al Grupo Coyol de edad Mioceno a Plioceno y la Unidad Coluvio-Aluvial, correspondiente a depósitos Cuaternarios.

Estructuralmente menciona que el área se encuentra afectada por dos patrones de fallas y fracturas principales de dirección NE y NW.

Ramos (2004): Realizó un estudio de susceptibilidad por inestabilidad de laderas en una porción al norte del poblado de Achuapa, litológicamente muestra que el área está constituida principalmente por rocas volcánicas de edad Terciaria, pertenecientes al Grupo Coyol, definiendo cinco Unidades litológicas principales, como sigue: Unidad de Dacitas, Unidad Basáltica, Unidad Andesítica, Unidad Riodacítica y Unidad Coluvio-Aluvial, además sugiere que el comportamiento estructural, permite definir dos rasgos estructurales principales como son: NE-SW y NW –SE.

Rivera (2006): Cartografió el área de Cinco Pinos y sus alrededores, definiendo 7 Unidades litológicas: Unidad de Andesita, Unidad de Basalto, Unidad de Toba Dacítica, Unidad de Brecha, Unidad de Riolita, Unidad de Intrusivos y Unidad Coluvio-aluvial, además concluye que el área de estudio está afectada por 2 dominios estructurales con dirección NE y NW.

Velásquez (2006): Realizó la cartografía geológica del área de Somotillo, en la que señaló la presencia de rocas volcánicas extrusivas tales como tobas, brechas, andesitas y plagidacitas, las que atribuyó al Grupo Coyol. También identificó rocas intrusivas que cortan las rocas volcánicas y material aluvial de edad Cuaternario; de igual manera determinó la presencia de dos patrones estructurales bien marcados correspondientes a direcciones NE-SW y NW-SE.

Schliz (2009): Realizó una Interpretación Geoestructural del área de San Juan de Limay y Cinco Pinos, definiendo 5 fases de deformación tectónica con direcciones NW-SE, NE-SW, N-S, E-W y propuso un lineamiento de estructuras volcánicas en la antigua ubicación del arco volcánico Terciario.

En general, los autores proponen la presencia de fallas regionales que siguen dos patrones estructurales principales en dirección NW-SE y NE-SW, sin embargo carecen de caracterización estructural y por ende no muestran los esfuerzos que dieron origen a estos sistemas de fallas.

1.4 Metodología

La metodología consistió de 4 etapas principales, en las cuales se utilizó técnicas de gabinete y campo que permitieron la evaluación geométrica y cinemática de las fallas presentes en el área de Somotillo y Achuapa, como sigue:

1. Trabajo de gabinete
2. Trabajo de campo
3. Procesamiento e Interpretación de la información
4. Informe Final

1.4.1 Trabajo de Gabinete

Consiste de una etapa exploratoria constituida por dos pasos esenciales:

- Recopilación Bibliográfica
- Generación y obtención de mapa base

- Recopilación Bibliográfica:

Se encontraron dos tipos básicos de fuentes de información, denominada fuente primaria y fuente secundaria.

La fuente primaria fue proporcionada por datos de primera mano como: libros, tesis e informes técnicos realizados en el área.

La fuente secundaria la proporcionaron datos obtenidos de artículos y revistas científicas que hacen mención a estudios realizados en el área o en sus alrededores.

- Generación y obtención del Mapa Base

Luego de haber obtenido información preliminar, se procedió a la elaboración y diseño del mapa base.

• Fotointerpretación:

Mediante la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:40,000, se generó información detallada de los objetos naturales o artificiales presentes en el área, en la fotointerpretación se aprovechó la perspectiva aérea obtenida de las imágenes, resaltando los caracteres más importantes como son: elementos morfológicos, anomalías estructurales, vegetación, identificación de diferentes rasgos geológicos, drenaje y erosión, para ello se debió tomar en cuenta: tono fotográfico, textura, forma y tamaño de los elementos, topografía o relieve terrestre, alineamientos y el avenamiento o drenaje.

Utilizando el paquete de sistema de información geográfica (SIG) ArcGis 9.3, se digitalizaron e interpretaron los rasgos que proporcionaron las curvas de nivel y el drenaje superficial, mostrados en las hojas topográficas Somotillo (2855-III) y Achuapa (2855-II), a escala 1:50000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1990).

Con el propósito de realizar un análisis e interpretación estructural satisfactorio fue necesario elaborar varios mapas complementarios (Anexo 1), entre ellos el Mapa de curvas de nivel, Altimétrico, Modelo sombreado y de Pendientes, los cuales sirvieron de base para delimitar las trazas de fallas regionales y estructuras volcánicas, para posteriormente ser comprobadas en campo.

• Mapa de curvas de nivel:

Mediante la digitalización de las curvas de nivel del área, se obtuvo el mapa de curvas a escala 1:50,000, el cual brindó una visión en conjunto del área de estudio, por medio de sus vértices y líneas directrices, mostrando en forma regional las características topográficas del terreno en los que se representan el relieve con sus eventuales desigualdades.

El mapa de curvas fue de mucha importancia debido a que las curvas de nivel ayudaron a definir características morfológicas del área de estudio (Anexo 1.1), de acuerdo con este análisis, las curvas de nivel de Somotillo y Achuapa, presentan una orientación preferencial NW-SE, con una altitud que varía de 10 m a 1,400 m.s.n.m, con un desnivel de 1390 m.

Dentro del área de estudio se tiene prominencias topográficas aisladas y conformadas por curvas concéntricas y alargadas en dirección NW-SE, como son los cerros: Piedras Gordas (N1440000-E550000), El Regén (N1452500-E549100), Monte Frío (N1445500-E533500) y Matapalo (N1445900-E5265000). La zona escarpada se extiende sobre los 200 m a los 1,200 m.s.n.m.

Hacia el este del área, las curvas de nivel son cerradas y discontinuas y conforman estructuras circulares, algunas de ellas disectadas en uno o varios de sus flancos.

De igual forma se observa en el área NE, donde las curvas indican la presencia de estructuras semicirculares con su eje mayor orientado NE-SW, las cuales sugieren la presencia de cráteres colapsados.

Algunas curvas de nivel se presentan poco espaciadas y muy lineales, indicando la presencia de fallas o fracturas, sobre las cuales se logra apreciar facetas triangulares, en fases de madurez a senectud, características de zonas de fallas.

- **Mapa Altimétrico:**

El mapa altimétrico, también conocido como mapa hipsométrico, representa las diferentes altitudes topográficas que caracterizan a la región, este mapa permite la distinción de las partes planas de las altas y escarpadas (Anexo 1.2).

Para tal finalidad, se utilizó una gama de colores que varía de menor a mayor intensidad, definiendo zonas topográficas con máxima y mínima altitud del relieve morfo-estructural, esto permitió visualizar las zonas escarpadas debido a la cercanía de los tonos, indicando los lineamientos de las zonas de fallas características.

La determinación de la Depresión Tectónica de Achuapa, se observó a partir de un decrecimiento altitudinal en comparación con su entorno, ya que se encuentra marcada por altitudes que varían de 240 m en la base a 600 m en la cima un escarpe pronunciado, dentro de la cual se aprecian dos grandes estructuras semi-circulares como la Caldera de Achuapa y la Caldera de San Juan de Limay, las cuales presentan una abrupta elevación de 1226 m a 1100 m, con una altura absoluta de 1352 m.

- **Modelo Sombreado:**

El modelo digital del relieve sombreado conjuntamente con la utilización de las fotografías aéreas a escala 1:40,000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), ayudó a visualizar en forma rápida y general las características morfo-estructurales. Este modelo permitió ver el área en tres dimensiones, facilitando la distinción de zonas de mayor altura y rasgos morfoestructurales.

Desde el punto de vista estructural, permitió visualizar las zonas de fallas con mayor pendiente, expresadas con un sombreado más oscuro (Anexo 1.3).

La morfología de las estructuras fueron delimitadas por contornos de tonos más grises y en su parte superior con grises más claros, así mismo se observó el basculamiento de las estructuras caldéricas, ya que los tonos de gris se oscurecen hacia el flanco basculado.

- **Mapa de Pendientes:**

En el mapa de pendientes se obtiene, a partir de la diferencia entre curvas, generando seis rangos que van de 0° a 90° de inclinación (Anexo 1.4).

Este mapa permitió la localización de los patrones geomorfológicos de acuerdo a la semejanza o diferencia de pendientes de acuerdo al cambio de color, resultando en cuatro patrones principales que van de menor a mayor pendiente; valles (0 a 15 %), lomeríos (16% a 30 %), ladera (31% a 45 %) y áreas escarpadas (>45 %).

Mediante el análisis e interpretación de estos mapas, se identificó los diferentes patrones geomorfológicos, los rasgos estructurales fundamentales y las direcciones preferenciales de fallas regionales que afectan el área de estudio.

1.4.2 Trabajo de Campo:

Para el trabajo de campo se utilizó un mapa base, elaborado a partir de todas las interpretaciones anteriormente mencionadas, el cual sirvió para comprobar las diversas Unidades litológicas, estructuras volcánicas, cuerpos intrusivos y fallas, presentes en el área.

El levantamiento se realizó principalmente a lo largo de ríos, quebradas, cortes de carretera y afloramientos, en los que se estudió los relieves asociados a estructuras, tipos de fallas, tipos de estructuras volcánicas y depósitos litológicos asociados a éstas.

Para el levantamiento geo-estructural se tomó en cuenta el rumbo y buzamiento de las estructuras, tales como: fallas, fracturas y diaclasas.

Para conocer su cinemática, se identificaron sus respectivos indicadores como: estrías, sistema conjugado, sigmoides, criterio escalonado, estructuras lunares, estructuras plumosas, venas, clivaje, criterio de clastos rotados, brecha de falla, harina de falla, fracturas tipo R y P, estructuras en dominó y desplazamientos de estratos guías, los cuales permitieron identificar el tipo de estructura. Además se cartografiaron y midieron estructuras volcánicas como domos y cuerpos intrusivos (diques), sus dimensiones, rumbo y tipo.

La identificación y cartografía de fallas y fracturas se realizó considerando ancho y largo de la falla, rumbo, buzamiento, desplazamiento, tipo de roca y/o depósito que afecta, además se determinaron el arreglo de las fallas, la geometría y terminación de las mismas.

Se realizó un muestreo de las rocas aflorantes en los sitios de deformación tectónica y zonas de ruptura, realizando descripciones de muestras de mano en el campo, con el propósito de marcar eficazmente los sitios donde afloran. Se elaboraron perfiles geológicos del área lo que permitió corroborar la estratigrafía de la zona propuesta por diversos autores, tomando para ello los cortes realizados a lo largo de caminos, carreteras y el lecho de los ríos.

1.4.3 Procesamiento e Interpretación de la información:

- Interpretación Petrográfica

Las muestras recolectadas en campo, fueron marcadas con sus coordenadas, con el fin de localizar de manera eficaz los afloramientos, una vez tipificadas y descritas macroscópicamente, se procedió a elaborar las respectivas secciones delgadas de cada una de las muestras, para su posterior análisis microscópico; el análisis se hizo utilizando el microscopio Carl Zeiss Axiolab, con el cual se describieron a detalle las muestras de mayor interés geológico, además se tomaron fotografías con el fin de mostrar con mayor claridad lo observado en la sección.

Este análisis proporcionó información detallada de los esfuerzos y deformaciones presentes en las rocas a escala microscópica, lo que implica en cierta medida que los esfuerzos presentes a escalas microscópicas se han hecho notar a escala regional por medio de zonas de fracturamiento intenso por tectonismo.

- Análisis Estructural

Para el análisis estructural se hizo énfasis en la recolección de la mayor cantidad de datos posibles en campo, relacionados a fallas y fracturas, con el fin de determinar la posible existencia de dominios estructurales.

Lo anterior permitió el análisis estadístico de los datos estructurales, con el uso de proyecciones estereográficas, permitiendo de esta manera la interpretación de los eventos tectónicos existentes en el área de estudio.

• Roseta de Fracturas

La roseta de fracturas es un diagrama que facilitó la visualización de las direcciones de los rumbos preferenciales de estructuras tabulares como diques, planos de debilidad como fracturas y fallas o la orientación de elementos lineales como estrías.

Los datos estructurales medidos en campo se procesaron en estereogramas y tablas de datos, los análisis estadísticos se realizaron utilizando diagramas de rosas, mostrando las direcciones preferenciales de los esfuerzos producidos en el área.

Con la distribución de las líneas de rumbo se analizaron de manera eficaz el rumbo preferencial de las estructuras que afectan la zona, tomando en cuenta los criterios planteados en la etapa de campo, se realizó un análisis para cada uno de los sitios de medición y posteriormente se analizaron un conjunto de esfuerzos donde se mostraron las fases de deformación que han afectado el área.

1.4.4 Informe final

Una vez finalizados los análisis, se procedió a integrar los resultados con la ayuda del sistema de información geográfica (SIG) ArcGis 9.3, con el cual se digitalizaron las principales estructuras, litología y unidades geomorfológicas comprobadas en el campo, se integraron las formas características de calderas y estructuras semi-circulares.

El programa de diseño gráfico Autocad 2008, se utilizó para elaborar los perfiles topográficos trazados en las zonas de mayor interés del mapa estructural, tales como zonas en las que la topografía varía bruscamente y zonas de depresiones tectónicas.

El programa CorelDraw (versión 12), se utilizó para editar las fotografías tomadas en campo y de secciones delgadas, con el fin de indicar claramente lo que se observó en la foto.

El software Spheristat (versión 8.0), consta de una base de datos, la cual es llenada con los rumbos de fallas y fracturas medidas en campo, la tabla consta de seis columnas principales, en las cuales se integran los datos de la estación (Stn), que corresponde al número de afloramiento donde se tomaron los datos.

La columna “X” corresponde a la coordenada Este, la columna “Y” a la coordenada Norte, se transforman los rumbos de fallas y fracturas a azimut, colocándolo en la columna número cuatro y posteriormente se crea la roseta de fracturas a partir de estos datos (Figura 2).

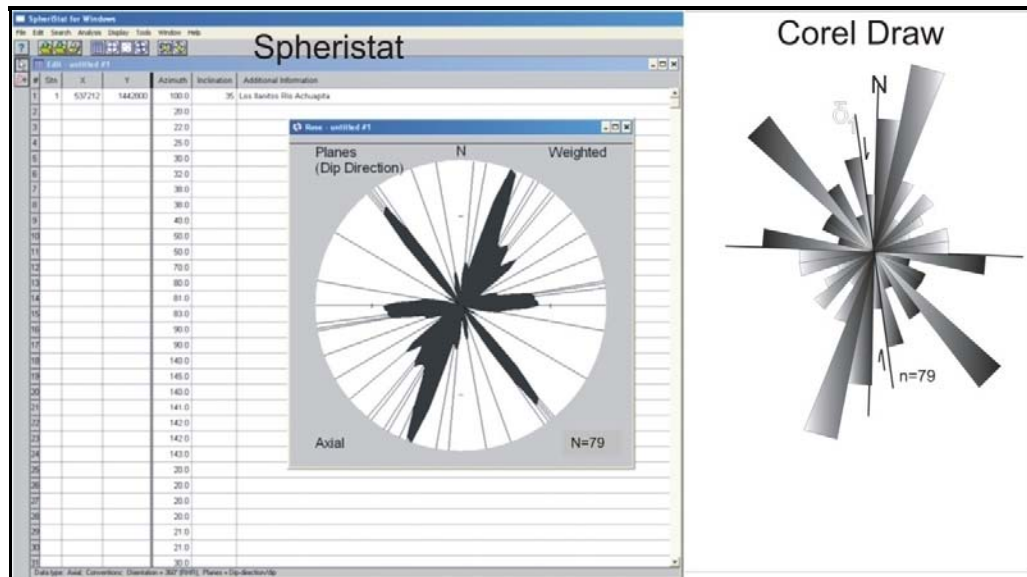


Figura 2. Elaboración de rosetas de fracturas en Spheristat (versión 8.0) y modelamiento de las mismas en Corel Draw (versión 12).

Posteriormente, para tener una mejor visión de las direcciones de los esfuerzos se modelaron las rosetas de fracturas en el programa de diseño Corel Draw (versión 12), siendo estas el resultado final de los datos tomados en campo.

Estas rosetas de fracturas se utilizaron para determinar las direcciones preferenciales de los esfuerzos ocurridos en el área de estudio, definiendo las direcciones de esfuerzos principales máximos σ_1 y mínimos σ_3 .

La interpretación de los mapas y los diagramas anteriores se muestran en los resultados del documento.

CAPITULO II

TECTONICA DE AMERICA CENTRAL

América Central se encuentra localizada entre las Placas de Norte América y Sur América, interactuando con el movimiento cortical de la Placas de Cocos, Nazca y Caribe (Figura 3), donde la Placa de Cocos subduce a la Placa Caribe, a una velocidad aproximada de 8 cm/año, cuya dirección de subducción por debajo del margen pacífico de la Placa Caribe, es oblicuo respecto al límite de la Placa que subduce.

La Placa de Cocos, muestra una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 km y 220 km (Burbach , 1984 y Protti , 1993), dando como resultado un sistema complejo de subducción y un complicado patrón estructural en la corteza terrestre (Frischbutter, 2002).

De acuerdo con los conceptos de tectónica de placas, Centro América está situada en el borde oeste de la Placa Caribe, la cual limita al norte con la Placa Norteamericana a través del sistema de fallas Motagua – Polochic - Jocotán y la Fosa Caimán; al este por la Fosa de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas Menores; al sur por la Placa Suramericana y al oeste por la Fosa Mesoamericana.

América Central se encuentra en un margen convergente continental, muy activo, cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos que han estado evolucionando a lo largo del Cenozoico, estos bordes se caracterizan por la presencia de fallas con desplazamiento horizontal, plegamientos compresionales y fallamiento extensional (Dengo y Case, 1990).

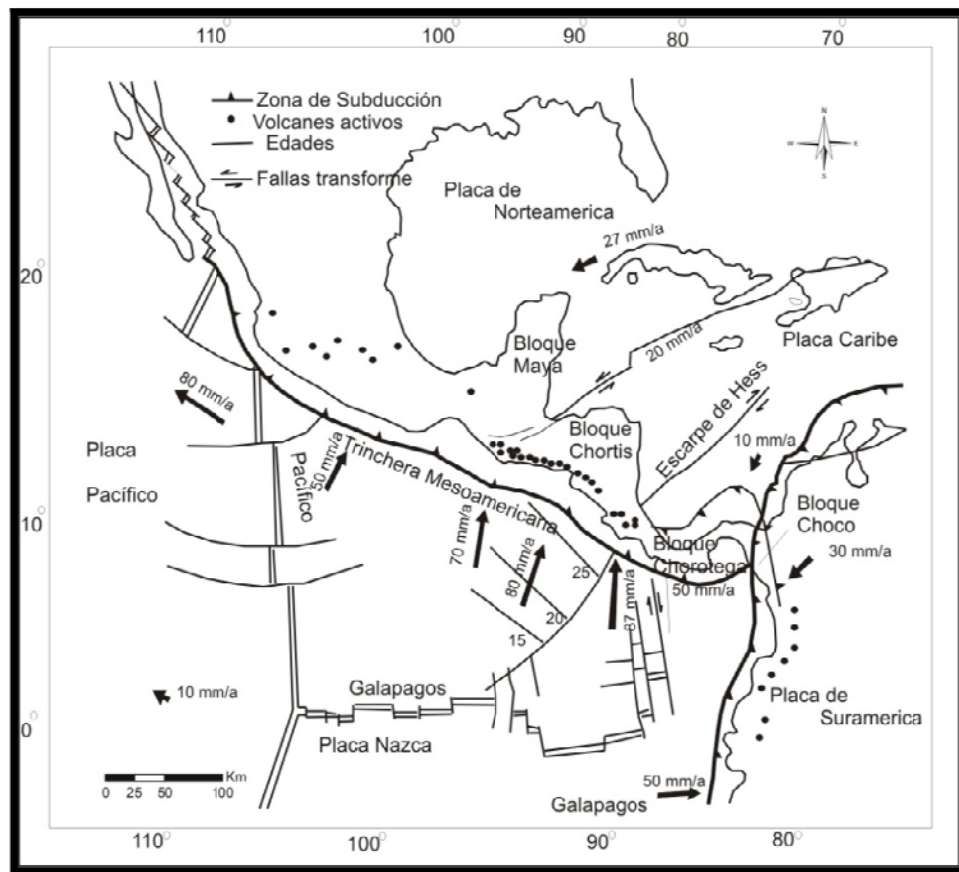


Figura 3. Mapa Geotectónico de Centroamérica y del Caribe. Las flechas indican la dirección de la subducción de la Placa Cocos bajo la Placa Caribe, así como su velocidad (Frischbutter, 2002).

El territorio Nicaragüense puede ser dividido en dos regímenes tectónicos, como sigue:

El primero originado por esfuerzos de tensión local producidos por la compresión regional entre las Placas de Cocos y Caribe, siendo estos esfuerzos los responsables de la formación de la Depresión de Nicaragua de tendencia NW-SE, a finales del Cenozoico (McBirney & Williams, 1965).

El segundo originado por esfuerzos compresionales locales, cuyos esfuerzos de extensión regional dieron origen de la Cadena Volcánica Cuaternaria, la cual comienza a finales del Plioceno, en el extremo noroeste de la Depresión Nicaragüense (McBirney y William, 1965), extendiéndose desde El Salvador hasta Costa Rica, a lo largo del eje de la Depresión Nicaragüense en dirección NW-SE (Frischbutter, 2002).

Estos mismos regímenes, actuaron durante el Terciario, generando la deformación de la superficie en el área occidental de Nicaragua, incluyendo el área de Somotillo y Achuapa, evidencia de lo cual se expone en la presencia de una Depresión Tectónica en el área, originada como consecuencia de esfuerzos extensionales a través de fallas de dirección N-S.

De acuerdo a la composición de su basamento, América Central se divide en tres grandes Bloques estructurales y un Micro-Bloque, los cuales se caracterizan por ser de diferente naturaleza, tanto oceánica como continental (Dengo, 1973) y (Venable, 1994), ubicados de la siguiente manera:

- a) **Bloque Maya:** De naturaleza continental, integra la parte norte de Guatemala y sur de México, posee un espesor entre 20 km y 25 km hacia el norte y entre 30 km a 40 km, hacia el sur. Las rocas más antiguas de este bloque se localizan en la Sierra Madre del Sur de Chiapas - México, en la cordillera central de Guatemala y en las montañas Mayas en Belice, sin embargo, en la mayor parte de Centroamérica influyen principalmente los bloques Chortis y Chorotega.
- b) **Bloque Chortis:** Comprende la mayor parte de los países Centroamericanos, entre los que figuran: Guatemala, Honduras, El Salvador y la parte Norte de Nicaragua, predominando una corteza de tipo continental. Las rocas más antiguas del Bloque Chortis, consisten en una serie de rocas deformadas y metamorfizadas de edad Paleozoica, manifestándose desde la zona de falla Motagua en Guatemala, hasta la parte Norte de Nicaragua en la región de Nueva Segovia. Este complejo metamórfico está cubierto por una secuencia de rocas sedimentarias, depositadas probablemente desde el Mesozoico hasta el Terciario Temprano, al igual que intrusiones de edades Cretácicas y Terciarias, las cuales se encuentran cortando la secuencia Metamórfica y sedimentaria (Donnelly, 1990).

Según Weinberg (1992), durante el Terciario, se produjo un desplazamiento del Bloque Chortis al noreste, entre la Fosa Caimán y el Escarpe Hess, induciendo un acomodamiento extensional, en Nicaragua Occidental formando la Depresión de Nicaragua, donde la rotación anti-horaria del Bloque Chortis resulta en una componente de cizallamiento hacia la derecha a lo largo de la Depresión de Nicaragua, cuyo efecto es evidente en extensas zonas de cizallamiento en el área de estudio.

- c) **Bloque Chorotega:** Se define como una secuencia ofiolítica de basamento Oceánico y de edad Cretácico, que abarca el sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Según Denyer, Alvarado & Aguilar (2000), este bloque tiene una actividad geológica constante, reflejada por un vulcanismo activo, variando litológicamente desde basaltos masivos, basaltos en almohadillas a rocas sedimentarias radiolaritas con intrusiones de diques.

El límite de este Bloque con el Bloque Chortis es aún desconocido, sin embargo (Dengo, 1962), propone para este, un sistema de fallas situadas al sur, en la frontera entre Nicaragua y Costa Rica.

Venable (1994), Propone el Micro–Bloque Siuna como un terreno tectónico independiente del Bloque Chortis y Chorotega, debido a la presencia de unidades de rocas ultramáficas, tales como serpentinitas y cromitas, indicando remanentes de la corteza oceánica, por lo cual presupone que este micro-bloque formó parte del arco de los Antillas mayores durante el Mesozoico, tiempo durante el cual la mayoría de las reconstrucciones tectónicas ubican al bloque Chortis al oeste del bloque Maya, supone que la parte sur del bloque Chortis pudo haber estado en posición de sufrir una colisión con la parte norte del arco de los Antillas Mayores, donde se unieron un pedazo del arco y el terreno Siuna.

CAPÍTULO III

GEOLOGIA REGIONAL DE NICARAGUA

La formación geológica de Nicaragua ha sido influenciada por la diferencia tectónica a la que está sometida.

Por un lado, el norte de Nicaragua comprende el basamento metamórfico cristalino, compuesto por rocas metamórficas, datadas del Paleozoico Superior-Mesozoico, siendo estas las rocas más antiguas de Nicaragua (Garayar, 1971).

Estas rocas están intruídas por cuerpos ígneos plutónicos entre los que se destaca el Batolito de Dipilto de composición granítica, de edad Mioceno (Garayar, 1971). También existen Unidades de rocas sedimentarias del Mesozoico, localizadas principalmente en la cuenca del Río Bocay y al NE de Nicaragua, las cuales sobreyacen a Unidades de rocas metamórficas de la misma edad (Figura 4).

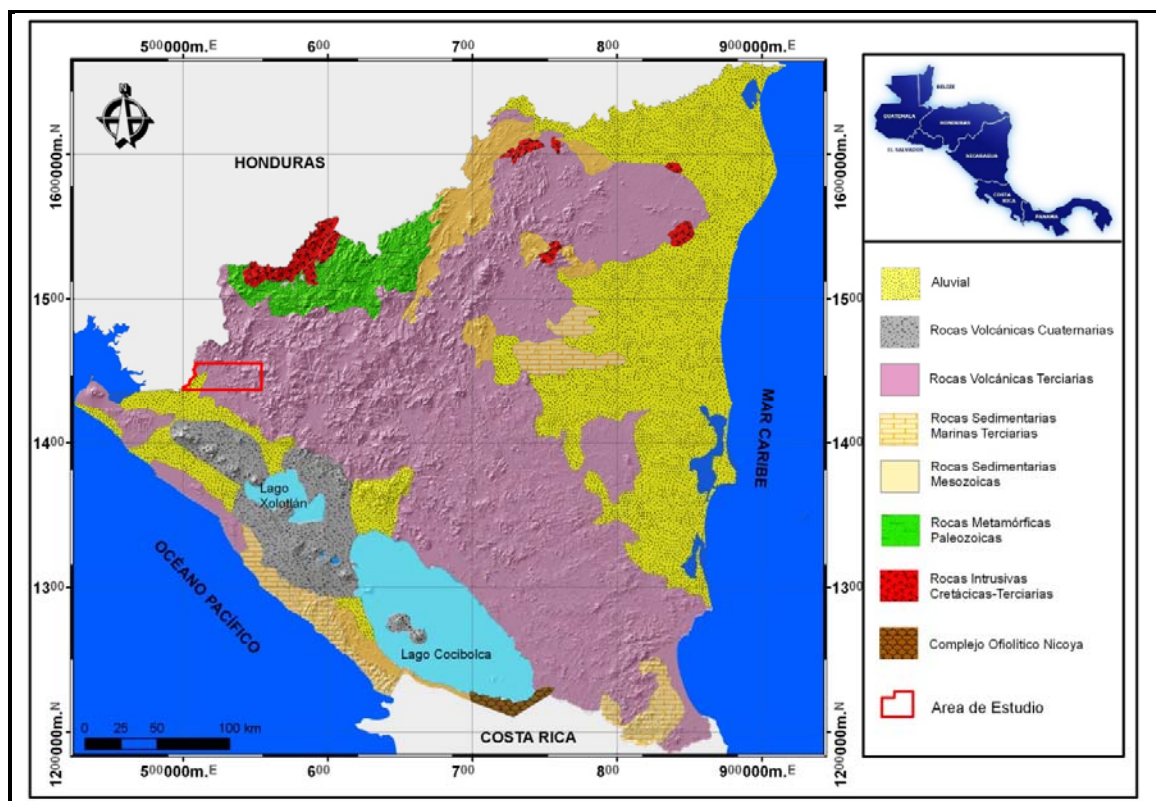


Figura 4. Mapa Geológico de Nicaragua. (Modificado del mapa geológico preliminar, Esc: 1,000,000.; 1973). Tomado de Rodríguez, 1994.

Las estructuras más características son fallas con rumbo NE-SW, pliegues y micro-pliegues, afectando a rocas metamórficas y a los cuerpos intrusivos (Garayar, 1971).

Por otro lado, en el sur de Nicaragua afloran rocas peridotíticas que pueden representar una parte del basamento oceánico de Centro América, a las que le sobreyacen grandes depósitos de rocas sedimentarias litorales-marinos que datan desde el Cretácico superior al Terciario Superior, los cuales fueron divididos en 5 Formaciones: Formación Rivas del Cretácico Superior, Formación Brito del Eoceno, Formación Masachapa del Oligoceno, Formación El Frayle del Mioceno, Formación El Salto del Plioceno; El Miembro Sapoá del Eoceno Inferior y la Formación Tamarindo compuesta de rocas piroclásticas de edad Mioceno, (Kuang, 1971); El sistema estructural en la cuenca costa adentro, está regido por el anticlinal de Rivas y una serie de fallas normales que afectan a las rocas sedimentarias.

Desde el Terciario, Nicaragua se ha edificado con la deposición de potentes capas de rocas volcánicas, producto de la subducción de la Placa de Cocos debajo de la Placa Caribe, especialmente en la porción noroeste del territorio (Rodríguez, 1994).

El área de estudio se ubica en esta porción, la cual se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas del Terciario y Cretácico, compuestas por extensos depósitos piroclásticos de composición intermedia-ácida e intrusiones ígneas, (Mc.Birney y Williams, 1965).

Las rocas de esta porción, han sido divididas en dos grandes unidades principales: Grupo Coyol y Grupo Matagalpa.

A su vez el Grupo Matagalpa ha sido sub-dividido en:

- 1- Matagalpa Superior: Constituida por andesita-basalto y brecha aglomerática con intercalaciones de sedimentos lacustres.
- 2- Matagalpa Medio: Compuesta por tobas ignimbríticas, dacitas y andesitas.
- 3- Matagalpa Inferior: Donde predominan depósitos piroclásticos y tobas aglomeráticas.
- 4- Pre-Matagalpa: Compuesta por tobas de diferente composición y fases eruptivas, alternadas con basalto- andesita e intercaladas con delgados depósitos de tobas.

La secuencia de rocas que sobreyace al Grupo Matagalpa recibe el nombre de Grupo Coyoil y se divide en dos subgrupos:

- 1- Coyoil Inferior: Sobreyace discordantemente al Grupo Matagalpa (Parson Corporation, 1972), constituido por flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos, basaltos, basalto-andesitas, brechas y aglomerados. A su vez estos materiales son cortados por domos riolíticos (Parson Corporation, 1972; Ehrenborg 1996).
- 2- Coyoil Superior: De edad Plioceno, sobreyace discordantemente al Coyoil Inferior y se divide en dos miembros: Basaltos andesíticos y aglomerados basálticos.
- 3- La estratigrafía del Grupo Coyoil, según Parson Corporation (1972), fue descrita como una actividad volcánica cíclica, iniciando con un vulcanismo basáltico, seguido de otra actividad andesítica (Coyoil Inferior) y culminando con un vulcanismo dacítico-riolítico (Coyoil Superior).

Estructuralmente, esta área es controlada por dos sistemas de fallas, una con dirección NW-SE, correspondiente al alineamiento del rumbo de la Cordillera Amerisque y el otro sistema con dirección NE-SW correspondiente al rumbo de la Cordillera Isabelia (Elming, et. al., 1998).

El Cuaternario se caracteriza por movimientos extensionales durante el Pleistoceno, el cual produjo un intenso fracturamiento que dio origen a la Depresión Nicaragüense, esta se extiende desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo sureste de Nicaragua.

Según McBirney y Williams (1965), la Depresión de Nicaragua está comprendida dentro de un extenso Graben que contiene la cadena de volcanes activos de Nicaragua con dirección Noroeste, entre dos sistemas de fallas normales paralelos (Kuang, 1971; Weinberg, 1990).

La geología que caracteriza ésta área son depósitos aluvionales y piroclásticos que están rellenando la Depresión, con un espesor aproximado de 2000 m, los depósitos piroclásticos se han agrupado en Grupo Las Sierras y Grupo Managua, cada uno con sus respectivas subdivisiones (Kuang, 1971).

Los llanos de la Costa Atlántica están caracterizados por el predominio de rocas sedimentarias del Pleistoceno y aluvionales recientes, que sobreyacen a las rocas sedimentarias del Terciario, forman la Cuenca de sedimentación de la Mosquitia y el Banco de Nicaragua, con ligeras extensiones de rocas ígneas intrusivas y extrusivas que afloran en lomas de poca elevación (Hodgson, 1971).

El Cuaternario Reciente (Holoceno), está representado por aluviones que cubren una gran extensión del territorio nacional, el Holoceno comprende los materiales inconsolidados de las erupciones volcánicas recientes.

CAPITULO IV

GEOLOGÍA LOCAL

El movimiento relativo de las placas tectónicas durante el Terciario, generaron grandes estructuras volcánicas en el área occidental de Nicaragua, estas estructuras emitieron volúmenes de lava que hoy en día se manifiestan como extensos depósitos de rocas volcánicas que modelan la superficie del área de estudio.

El área de Somotillo y Achuapa, está constituida por una sucesión de rocas volcánicas de edad Terciario, pertenecientes al Grupo Coyol, en transición con depósitos volcanoclásticos de edad Cuaternario, cabe destacar que estos productos volcánicos han sido el resultado de actividades cíclicas que varían en composición desde rocas extrusivas básicas, hasta rocas extrusivas ácidas que en ocasiones forman cuerpos dómicos.

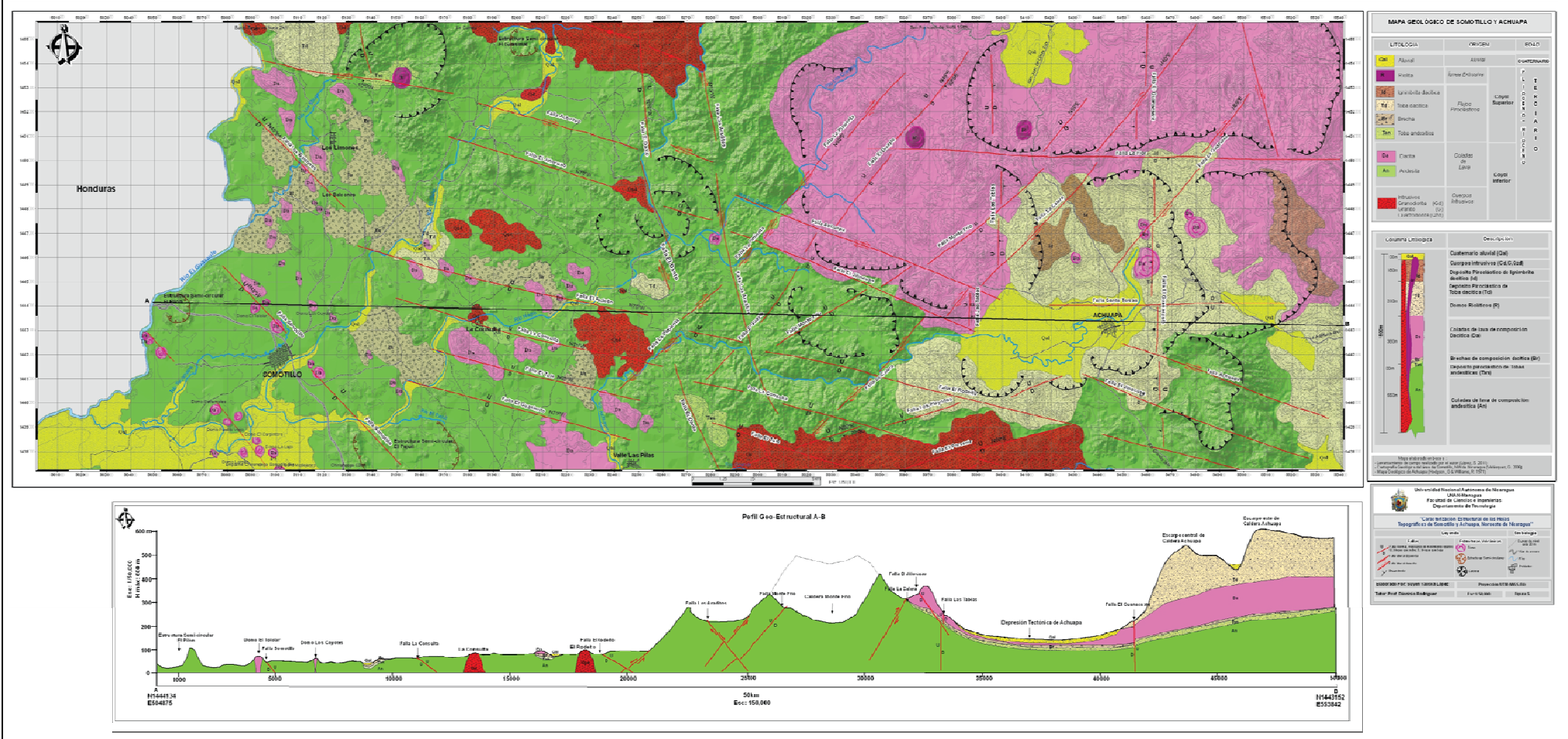
De acuerdo al levantamiento geológico realizado en el área de estudio (Anexo 2), se definieron 9 Unidades litológicas, correspondientes a eventos volcánicos sucesivos, las que posteriormente fueron intruídos por una serie de cuerpos plutónicos (Figura 5) **.

Estas Unidades litológicas fueron descritas de la más antigua a la más reciente, como sigue:

- 4.1 Unidad de Andesitas (An)
- 4.2 Unidad de Tobas andesíticas (Tan)
- 4.3 Unidad de Brechas andesíticas (Br)
- 4.4 Unidad Dacitas (Da)
- 4.5 Unidad Tobas dacíticas (Td)
- 4.6 Unidad de Ignimbritas dacíticas (Id)
- 4.7 Unidad de Riolitas (R)
- 4.8 Unidad de Rocas Intrusivas
 - 4.8.1 Sub-unidad de Cuarzodiorita (Qzd)
 - 4.8.2 Sub-unidad de Granodiorita (Gd)
 - 4.8.3 Sub-unidad de Granito (G)
- 4.9 Unidad de Depósitos aluviales (Qal)

A continuación se describen las unidades litológicas aflorantes en el área de estudio, de acuerdo a su posición estratigráfica:

** Ver Mapa Geológico a escala 1:50,00 en Anexo 5.



4.1 Unidad de Andesitas (An)

Es considerada la unidad de mayor extensión en el área de estudio, expuesta principalmente en el sector oeste, centro y sur de Somotillo; la zona centro, sur y sureste de Achuapa.

Se estima, que estas rocas ocupan el basamento litológico del área de estudio, con un espesor aproximado de 550 m.

Esta unidad corresponde a extensas coladas de lava en bloques de composición andesítica, originadas como resultado de una intensa actividad volcánica procedente de antiguos estratovolcanes emplazados en dirección N35°W.

Actualmente estos estratovolcanes, se encuentran colapsados debido a descompresiones violentas ocurridas durante su erupción, exponiendo sus paredes erosionadas y deformadas por fallas subsecuentes.

Las rocas formadas a partir de estas erupciones se les han denominado coladas andesíticas terminales, por haberse originado en el cráter principal y posteriormente haber salido de los límites de este, en forma de derrames de lava (Alvarado, 1990).

Las rocas andesíticas de esta unidad, se encuentran sobreyacidas por tobas andesíticas (Tan), brechas (Br) y dacitas (Da), además están siendo afectadas por intrusiones de cuerpos plutónicos de composición granodiorítica (Gd), granítica (G) y cuarzodiorítica (Qzd).

Estructuralmente, están relacionadas a la presencia de antiguas calderas, como: Caldera La Danta*, Caldera Monte Frío, Caldera El Danto, Caldera Piedras Gordas, alineadas en dirección NW y ubicadas al noroeste, centro y sureste del área de estudio, por lo cual se propone que estas estructuras volcánicas actuaron como fuente de emisión a coladas de lava andesítica.

Geomorfológicamente, está representada por la unidad de colinas volcánicas (V16), caracterizada por cerros bajos alargados, con alturas que oscilan entre 200 m y 300 m, en conjunto con cerros bajos aislados con elevaciones desde 80m hasta 100m, observados principalmente en el área de Somotillo.

* Propuesta por Velásquez (2008) y Rivera (2008), como una estructura semi-circular asociada a rocas andesíticas.

La unidad de andesitas, tienen su mejor exposición en La Ceibita (Coordenadas: N1451400-E512100), Paso Los Zanates (N1456600-E509700), El Caimito (N144300-E59100), El Llano la Chaperna (N1449100-E524200), Caldera La Danta (N1439600-E511900), Cerro El Portillo (1449900-E541900), El Puma (N1438096-E512599) y San Miguelito (N1442300-E516400), en Somotillo.

En Achuapa, se localiza en Caldera Monte Frío (N1445415-E531975), Caldera Piedras Gordas (N1439500-547000), Comarca La Pimienta (N1447500-E530000) y Comarca Los Araditos (N1440000-E531000), donde se exponen bloques masivos de roca andesítica, aflorando en las laderas de los cerros y en el lecho de los ríos (Foto 1).

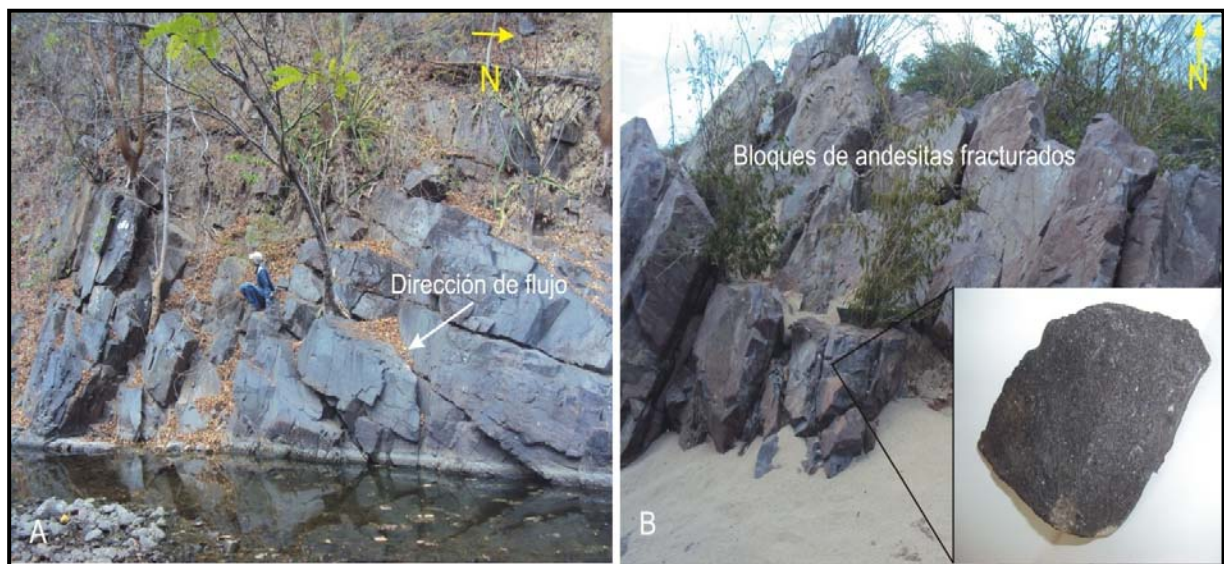


Foto 1. A) Nótese colada de lava andesítica en la ladera noroeste de la Caldera Monte Frío (N1445415-E531975), donde se puede apreciar la dirección del flujo. B) Bloques de andesita intensamente fracturados en el lecho del Río Jiñocuao (N1450833-E517566) y muestra macroscópica de la roca.

Macroscópicamente, presentan textura porfirítica, con colores que varían de gris-claro a gris-verdoso (por cloritización), inclusive en algunas áreas se les encontró de color rojizo, debido al alto grado de meteorización o por estar expuestas a alteración hidrotermal, su composición general es intermedia, ya que poseen gran cantidad de minerales máficos.

Microscópicamente muestran textura porfídica, la cual consiste de fenocristales sub-hédricos a anhedrales de plagioclasa tipo andesina y labradorita, generalmente las plagioclasas se encuentran fracturadas (Foto 2), lixiviadas o en proceso de lixiviación.

En la superficie de estas, se observa pelitización o alteración a minerales de arcilla (argilización), en ocasiones sausuritizadas** y epidotizadas por procesos hidrotermales.

La mayoría de las andesitas encontradas en el área, poseen dos fases de cristalización, una que muestra plagioclasas desarrolladas, gruesas, generalmente zonadas, cloritizadas y carbonatizadas, mostrando que fueron las primeras en cristalizar a una temperatura y profundidad mayor que la que compone la matriz y la otra que expone microlitos sub-hédricos con textura hialopilítica, característica de coladas de lava.

Contienen también cristales de anfíboles tipo hornblenda (Anf), en formas sub-hedrales a anhedrales, generalmente cloritizadas o alteradas a otros anfíboles como tremolita-actinolita. Existen muestras en las que están siendo totalmente pseudomorfizados por cloritas y carbonatos, esto ocurre a causa de la desvitrificación del vidrio volcánico presente en la matriz, debido a una variación brusca en la temperatura del magma, lo que demuestra la susceptibilidad de los anfíboles a alterarse dentro de una matriz de grano fino.

Los cristales de clinopiroxenos tipo augita (Px), se observan con textura de corona, indicando reacción del vidrio de la matriz desvitrificado en los bordes de los minerales ferromagnesianos, estos fenocristales se muestran sub-hédricos a anhedrales, los que en su mayoría se encuentran pseudomorfizados por cloritas o están en proceso de cloritización.

** Sausuritización: Transformación de la plagioclasa en un agregado cristalino, no determinable; consiste en una mezcla de alteraciones entre las que destaca: albitización, sericitización y epidotización, en un mismo cristal (Cosillo, 1986).

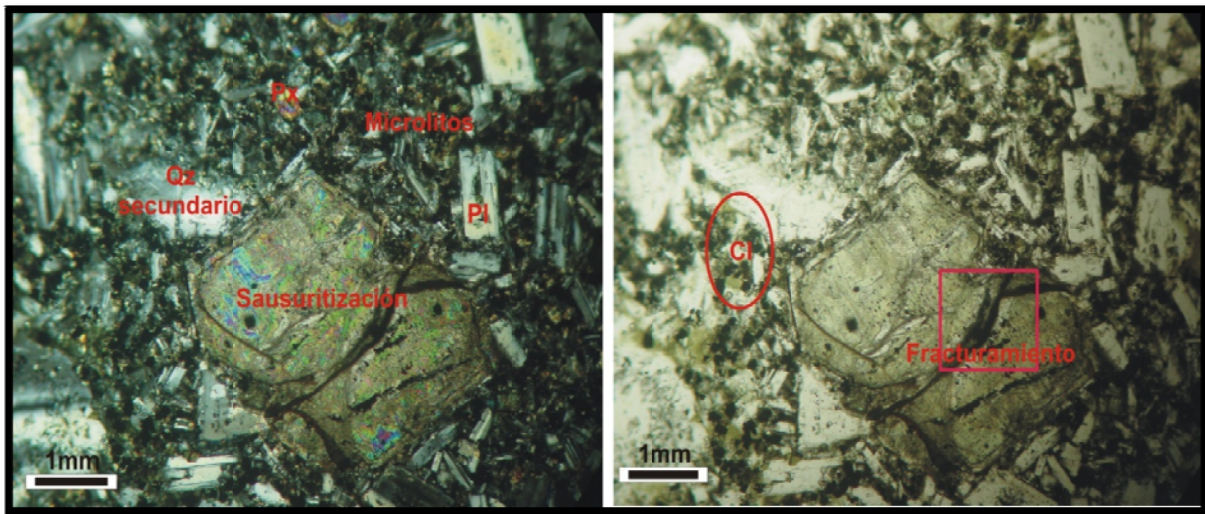


Foto 2. Textura Porfídica en la que se observan dos fases de cristalización esencialmente de plagioclasas, se exponen fenocristales de plagioclasas (Pl) saussuritizadas, cuarzo secundario y piroxenos (Px), inmersos en una matriz hialopilitica de plagioclasas y vidrio volcánico desvitrificado a clorita (Cl). Aumento 5x. Cerro El Portillo (N1449900-E541900).

En estas rocas el predominio de la textura porfídica y la presencia de más del 60% en fenocristales, muestra magmas con temperaturas muy elevadas, indicando una de las más obvias características de coladas de lavas, las que han sido producidas por un rápido enfriamiento del magma al llegar a la superficie por medio de un conducto volcánico.

La textura glomeroporfídica como la mostrada en la foto 3, expone fases menores de fraccionamiento magmático, en consideración con magmas viscosos y tamaños de cristales que sugieren haber sido separados de la fase líquida del magma, durante el ascenso del mismo hacia la superficie.

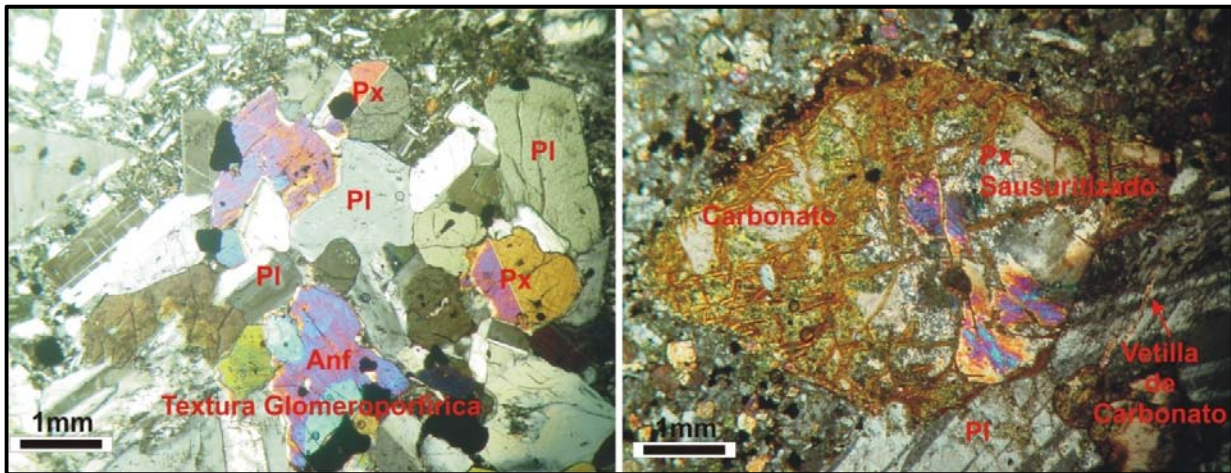


Foto 3. Véase textura glomeroporfídica de fenocristales de plagioclasas (Pl), anfíboles (Anf), piroxenos (Px), en una matriz hialopilitica de plagioclasas, la foto derecha expone un piroxeno pseudomorfizado* por minerales de alteración hidrotermal. El Puma, Somotillo (N1438096-E512599).

Como principales minerales de alteración hidrotermal se encuentran cloritas, vetillas de calcita e inclusive nidos de calcita relleno de intersticios entre los minerales, indicando que estas rocas se formaron a temperaturas medias post-cristalización.

4.2 Unidad de Tobas andesíticas (Tan):

Esta unidad se localiza principalmente en la parte centro, norte y sureste de Somotillo.

Se encuentran sobreyaciendo discordantemente a la unidad de andesitas, correspondiendo a la segunda capa de la columna litológica del área, con un espesor estimado de 30m.

Esta unidad corresponde a depósitos de flujos piroclásticos, originados como resultado de una actividad volcánica explosiva, la cual generó una suspensión densa, compuesta por una mezcla de fragmentos piroclásticos y gases en expansión que se movieron por los flancos del edificio volcánico.

Estructuralmente, está ubicada en áreas aledañas a antiguas estructuras volcánicas, lo que hace suponer que su origen está ligado a las calderas: Monte Frío y La Danta.

* Pseudomorfismo: Sustitución del mineral original por minerales de alteración, conservando la forma del mineral al que pertenecían.

Morfológicamente se caracteriza por lomas alargadas, con alturas entre 100 m y 200 m, en el corte de camino ubicado en Los Balcones (N1448858-E512135), se puede observar en forma de capas color gris-oscuro, producto del alto grado de meteorización (Foto 4).



Foto 4. Disposición litológica de la capa de toba andesítica subyaciendo a brechas y en contacto angular con dacitas, Los Balcones (N1448858-E512135).

Las Tobas andesíticas tienen su mejor expresión en el área de Río Negro (N1445000-E525000) y El Tejar (N1453000-E514500), Las Liras de Paso Hondo (N1454591-512734) en Somotillo y en Río El Tule (N1439394-E527878) en Achuapa.

Macroscópicamente poseen textura porfirítica psefítica*, cuyos tamaños de fragmentos de roca y cristales varían de (1 mm-2 mm), color gris-oscuro.

Microscópicamente muestran textura eutaxítica, la cual consiste de cristales anhedrales de plagioclasa tipo andesina y labradorita (Foto 5), anfíboles, piroxenos, xenolitos y matriz de vidrio volcánico.

* Psefítica: Textura de rocas piroclásticas que contienen fragmentos medianos de fenocristales.

Generalmente las plagioclasas se encuentran fracturadas y lixiviadas, en ocasiones se encuentran solamente esquirlas de estos cristales, cuyas superficies están peltizadas o alterados a arcillas.

La tobas andesíticas encontradas en el área, poseen una matriz compuesta totalmente de vidrio volcánico de composición básica, tipo obsidiana y xenolitos ricos en plagioclasas con textura hialopilítica, probablemente de composición andesítica.

Específicamente, estas tobas contienen cristales de anfíboles tipo hornblenda (Anf), en formas sub-hedrales a anhédricas, generalmente cloritizadas y carbonatizadas; además, contienen fenocristales de piroxeno tipo augita, cuyas formas anhedrales demuestran un alto índice de explosividad del magma.

Todos los cristales se encuentran en proceso de cloritización, producto de la desvitrificación del vidrio presente en la matriz, como consecuencia de un cambio brusco en la temperatura del magma que lo contenía.

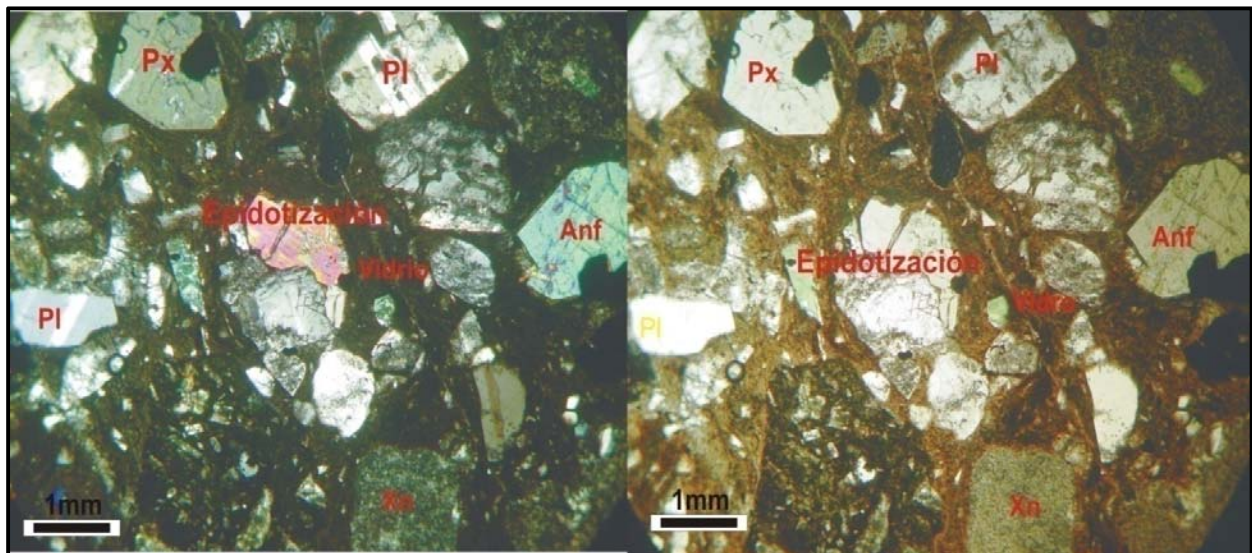


Foto 5. Textura Eutaxítica en la que se observan fenocristales de plagioclasas (Pl), anfíboles (Anf), piroxeno (Px), xenolitos (Xn), en una matriz de vidrio volcánico desvitrificado, aumento 5x, Las Liras de Paso Hondo (N1454591-E512734).

En estas rocas el predominio de la textura vitroclástica y la presencia de menos del 20% de fenocristales en la matriz, muestra el índice de explosividad del magma, durante la emisión de los productos piroclásticos que dieron lugar a las tobas andesíticas (Foto 6).

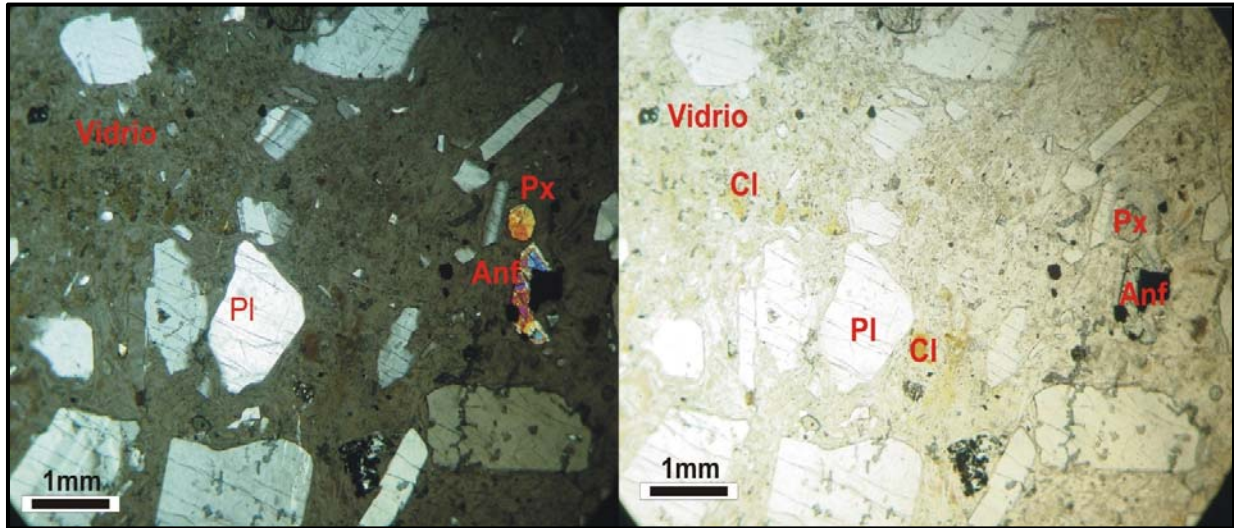


Foto 6. Textura vitro-clástica, en la que predomina la presencia de vidrio volcánico en la matriz con aproximadamente 20% de esquirlas de fenocristales. Las mesitas (N1446900-E516200).

El material ígneo fragmentario, arrojado por las erupciones volcánicas violentas, generó material piroclástico y su posterior acumulación en la superficie terrestre, bajo el aire o el agua, constituyeron las rocas piroclásticas como las tobas andesíticas y dacíticas que cubren el área de estudio.

Las erupciones volcánicas generadas durante el Terciario, fueron el resultado del escape de gases del magma que estaba confinado bajo presión (Mc. Birney & Williams, 1979), generando productos fragmentarios presentes en las muestras de tobas.

Al igual que las partículas de vidrio volcánico encontrado en la matriz de tobas andesíticas son producto del rápido enfriamiento del magma en superficie. Esto indica que el material arrojado por el conducto volcánico, tuvo que haber sufrido despresurización magmática de una forma relativamente rápida y emitir el material a la superficie de forma violenta, permitiendo que los cristales presentes en el magma se fragmentaran al salir del conducto y dieran lugar a las tefras (Cepeda, 1986), que posteriormente se consolidaron y formaron las tobas antes descritas.

4.3 Unidad de Brechas andesíticas (Br):

La unidad de Brecha se ubica en el oeste, centro y sureste del municipio de Somotillo.

Lito-estratigráficamente se encuentran subyaciendo a coladas de lavas dacíticas y sobreyaciendo discordantemente a tobas de composición andesítica.

Las rocas de esta unidad están formadas por líticos fragmentarios que varían de forma angulosa a sub-redondeada, son de composición básica y se encuentran inmersos en una matriz afanítica.

Las brechas se exponen en partes topográficamente planas, en el lecho de los ríos: Negro (N1442300-E516400) y Los Micos (N145400-E512600). Sus contactos litológicos tienen su mejor expresión en el pueblo Los Balcones (N1448858-E512135).

Macroscópicamente constan de fragmentos de rocas andesíticas meteorizadas y algunos fragmentos de líticos accidentales o xenolitos, su color característico es verdoso, por cloritización, mostrando signos de haber sido expuestas a alteraciones hidrotermales (Foto 7).

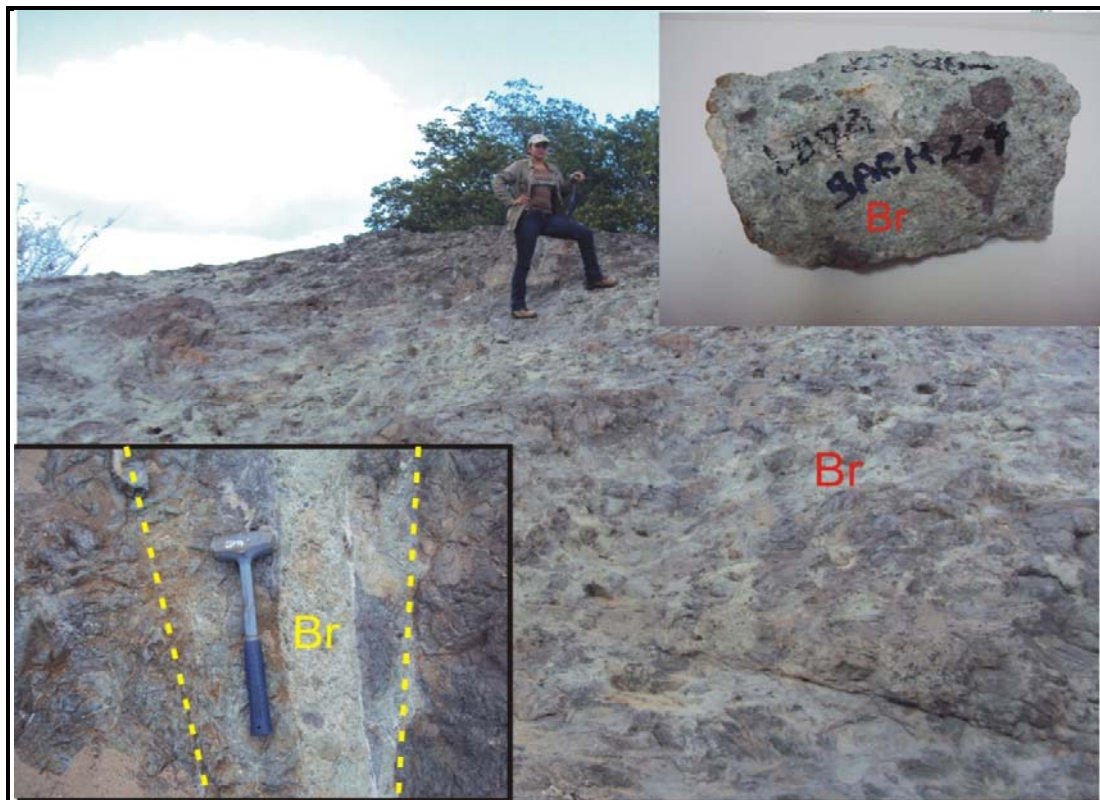


Foto 7. Brecha de composición básica en las riberas del Río La Naranja (N1440047-E544859) y Río Negro (N1447139-E526134).

Microscópicamente se observan minerales como plagioclasas meteorizadas y pseudomorfizadas por minerales arcillosos, minerales máficos (piroxenos y anfíboles alterados), en general muestran alteración hidrotermal por cloritización y carbonatización.

4.4 Unidad de Dacitas (Da):

Se localiza principalmente en la parte NE y NW del área de estudio, con un espesor aproximado de 380 m, correspondiente a coladas de lavas en bloques de composición dacítica (Foto 8).

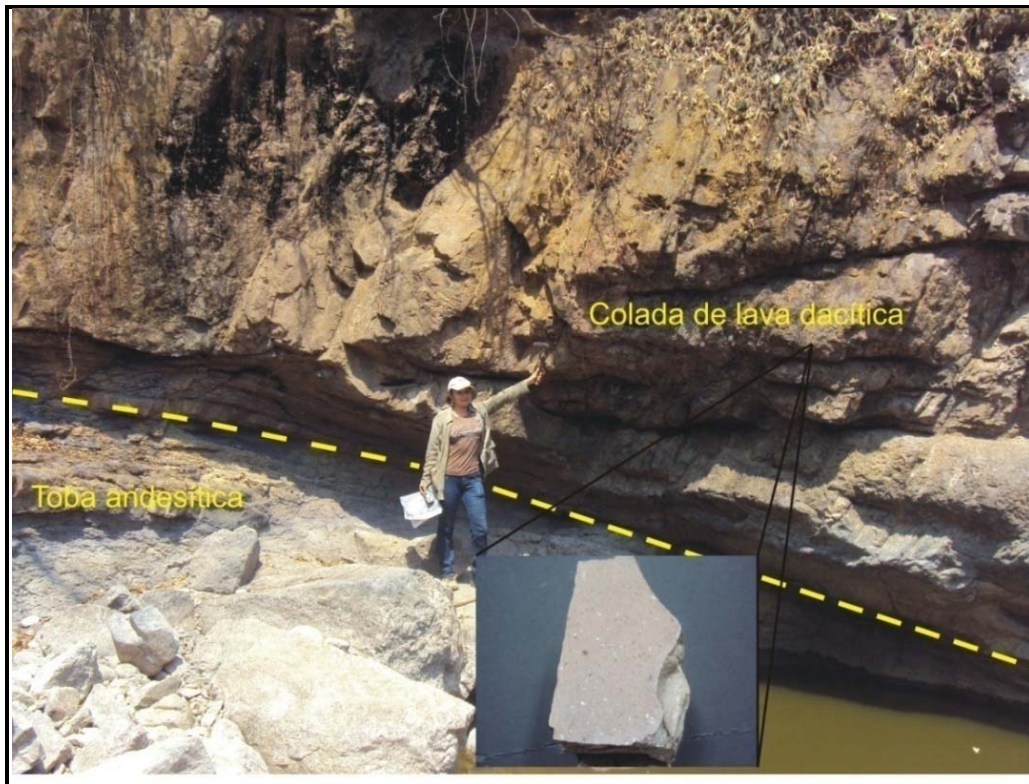


Foto 8. Nótese colada de lava dacítica en bloques, en contacto discordante angular con tobas andesíticas en el lecho del río Las Liras de Paso Hondo (N1454591-E512734), en la cual se puede apreciar la dirección del flujo.

Esta unidad es sobreyacida por tobas dacíticas e ignimbrítas dacíticas y subyacida discordantemente por brechas, tobas andesíticas y coladas de lava andesítica.

Las coladas de lava dacíticas se originaron como consecuencia de una actividad volcánica efusiva, probablemente vulcaniana, procedente de calderas emplazadas en dirección N05°W a N-S.

Estructuralmente está relacionada a tres grandes estructuras caldéricas antiguas, las cuales se ubican en la parte noreste del área de estudio, denominadas Caldera San Juan de Limay, Caldera Achuapa y Caldera El Guaylo.

Además, forman cuerpos dómicos intracráticos, dentro de la Caldera Achuapa, como sigue: Domo El Coyote (N1446000-E543000), Domo Pitagrande (N1446000-E546100), Domo Río Arriba (N1447200-E546000), Domo El Guanacaste (N1448500-E547800), Domo El Pajarito (N1447200-548000) y un conjunto de cerros alineados en dirección NW-SE en el área de Somotillo.

Geomorfológicamente está asociada a la unidad de origen volcánico de coladas de lava (V9) y a la unidad de origen estructural de domos (S10), formando cerros bajos con alturas entre 80 m hasta 200 m, cuyas cimas sub-redondeadas forman cúpulas (Foto 9).

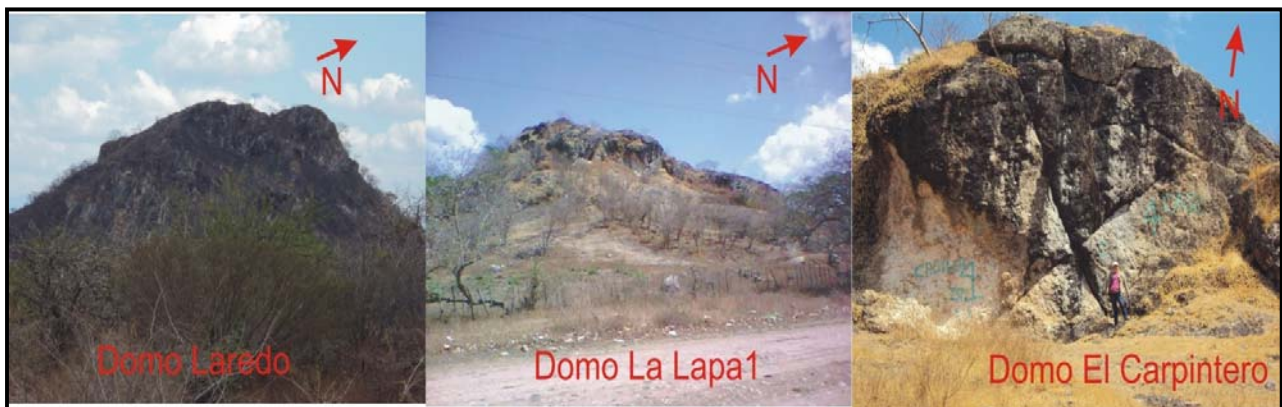


Foto 9. Domos dacíticos en forma de cúpula, Domo Laredo (N1438000-E508500), Domo La Lapa1 (N1438000-509200), Domo El Carpintero (N1438500-E509000).

La unidad de dacitas, aflora principalmente en el municipio de Achuapa, su mejor expresión se puede observar sobre la carretera Achuapa-San Juan de Limay, El Regén (N1455000-E551000), El Guaylo (1449000-E537100), Río Las Lajas (N1455666-E539900) y en el poblado La Consulta (N1442000-E519000) Cerro El Burro (N1453100-E512500) y Las Liras de Paso Hondo (N1454591-512734).

Macroscópicamente presentan textura porfirítica, generalmente de color gris-claro a rosado-grisáceo por meteorización (Foto 9), en las que se pudo observar fenocristales de plagioclasa y cuarzo, principalmente.

Microscópicamente muestran textura porfídica seriada, en general consiste de fenocristales sub-hédricos a anhedrales de plagioclasas tipo andesina y labradorita, que constituyen alrededor del 15% de los fenocristales presentes en la roca, cuyos tamaños varían desde 0.5 mm hasta 1.5 mm (Foto 10); generalmente las plagioclasas se encuentran fracturadas, lixiviadas, pelitizadas y esencialmente carbonatizadas, producto de alteraciones hidrotermales.

A diferencia de las andesitas, las dacitas muestran fenocristales de cuarzo, sin embargo casi siempre se encuentran corroídos por la matriz o por vidrio volcánico desvitrificado a clorita (Foto 10).

Los anfíboles tipo hornblenda (Anf), se observan en formas sub-hedrales, generalmente mostrando bordes corroídos por la matriz, cloritizados o alterados a otros anfíboles, también se hace presente la pseudomorfización por cloritas y carbonatos.

Se observan pequeños cristales de biotitas anhedrales, en forma de escamas diseminadas y/o cloritizadas, constituyendo un porcentaje menor al 5%.

Los cristales de augita (Px), poseen formas sub-hédricas a anhedrales, cuyos tamaños no sobrepasan a 1mm, sus bordes se encuentran corroídos por la matriz y/o cloritizados.

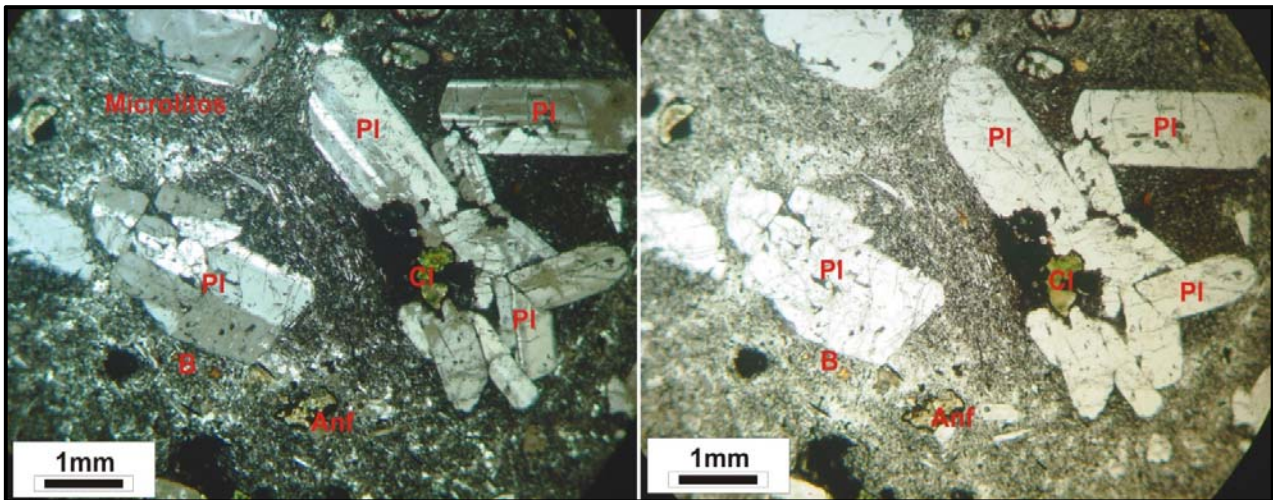


Foto 10. Textura Porfídica seriada en la que se observan dos fases de cristalización en plagioclasas, se muestran fenocristales de plagioclasas, anfíboles y biotitas, inmersos en una matriz hialopilitica de plagioclasas y vidrio volcánico desvitrificado a clorita, La Consulta (N1443200-E518600).

Particularmente las dacitas poseen entre un 60% a 65% de matriz, compuesta principalmente por microlitos de plagioclasea con textura microcristalina, en ocasiones, contiene cuarzo secundario relleno vesículas y formando zeolitas, o bien relleno intersticios entre los fenocristales de plagioclasas.

Una forma común de la matriz de lavas dacíticas, es la ocurrencia de productos de desvitrificación*, como zeolitas y la formación de cuarzo (Qz) secundario en la matriz (Foto10), causados por un enfriamiento rápido de magma rico en sílice y por la presencia de soluciones hidrotermales en las cercanías de la fuente de emisión de la lava.

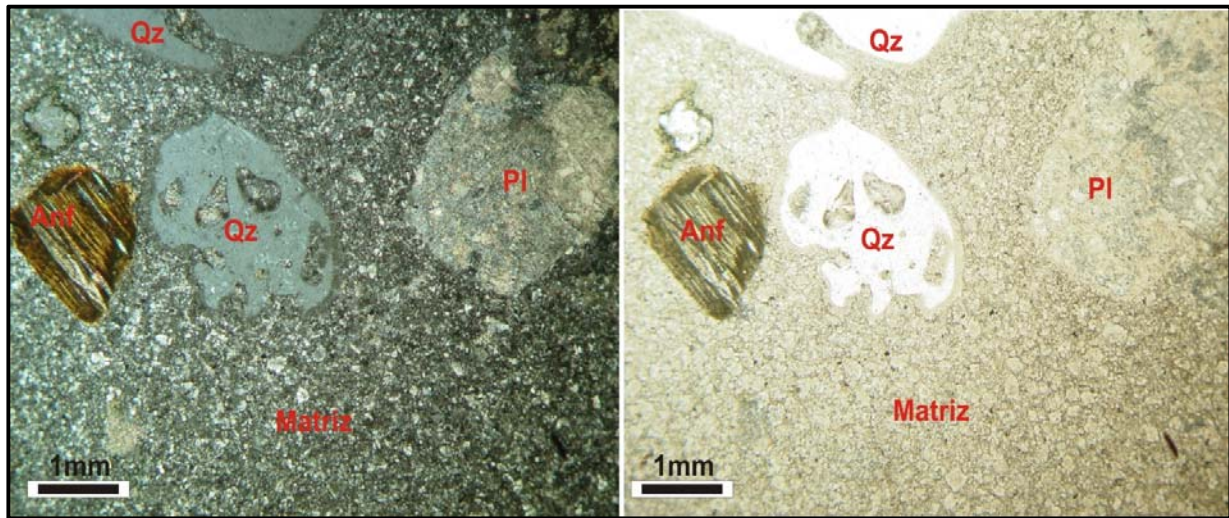


Foto 11. Véase textura microcristalina de plagioclasas y cuarzo secundario, en ambas fotografías se puede observar la pseudomorfización de los anfíboles (Anf) por cloritas, dejando únicamente la forma original del mineral. Nótese fenocristales de cuarzo (Qz) corroído por vidrio volcánico. Valle Río Arriba (N1443324-E545566).

En general en las rocas de composición dacítica, se distingue la presencia de varias generaciones de plagioclasa: fenocristales limpios y fenocristales zonados (ricos en inclusiones vítreas), lixiviadas y corroídas.

Dentro de la unidad dacítica se exponen cuerpos tabulares hipabisales o diques, formados por la solidificación ulterior del magma.

Debido a los esfuerzos tectónicos ocurridos durante el Terciario, se generó un fallamiento y fracturamiento intenso, dando lugar al emplazamiento de magma a través de ellas, un enfriamiento lento de magma en estas fisuras dió lugar a diques, de 1.20 m de ancho y 150 m de longitud, formados por pórfidos andesíticos ubicados al noreste del área de estudio (Foto 12).

Los diques ubicados en el Río Las Lajas (N1455666-E541649), tienen una dirección preferencial NW-SE, indicando que fueron formados en la última fase de esfuerzo tectónico ocurrida durante el Terciario en el área de estudio.

* Desvitrificación: Alteración del vidrio volcánico a cloritas (Mc. Pherson, 1981).

Estos diques son de composición andesítica, cuya textura es porfirítica, color gris-claro a gris verdoso por cloritización, en la muestra de mano se puede ver a simple vista fenocristales de plagioclasas que alcanzan a medir hasta 3 cm de longitud y 0.5 cm de ancho, mostrando dos fases de cristalización bien marcadas.

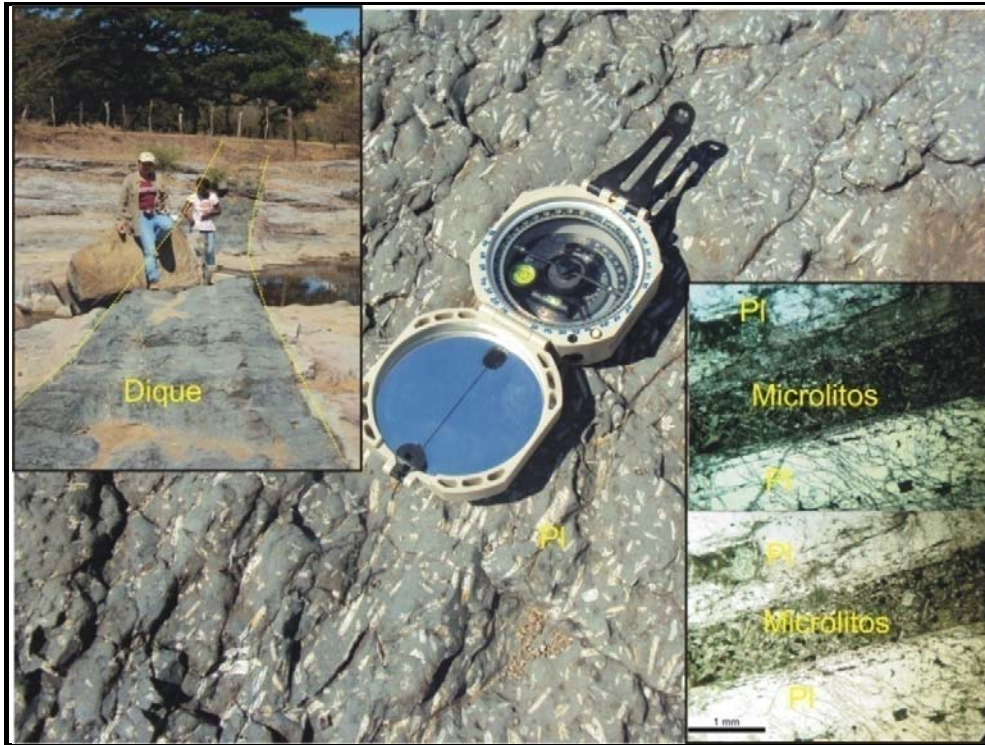


Foto 12. Pórfido andesítico expuesto en dos diques paralelos, ubicados en dirección preferencial N70°W, perpendiculares a la dirección del Río Las Lajas (N1455666-E541649), en el límite sur de la hoja topográfica de Achuapa.

Estos diques corresponden a pórfidos andesíticos, donde las plagioclasas (Pl) tipo andesina y labradorita poseen tamaños que varían desde micras en la matriz (microlitos), hasta fenocristales de 3cm, mostrando en ocasiones textura intersertal.

Esto significa que los cristales más grandes fueron desarrollados en la fase magmática hipabisal y los microlitos fueron resultado del enfriamiento rápido del magma en contacto con la superficie.

4.5 Unidad de Tobas dacíticas (Td):

Se localizan principalmente en el sector noroeste de Somotillo y la zona este y sur de Achuapa.

Corresponde a flujos piroclásticos de bloques y cenizas, originados como resultado del colapso de antiguas calderas ubicadas en dirección preferencial N-S.

Las evidencias de estos colapsos se encuentran en la pared este de la Caldera Achuapa (N1444099-E548040) y en la ladera sureste de la Caldera El Guaylo (N1446824-E542274), mostrando depósitos de material piroclásticos fragmentario, soportado por una matriz fina de ceniza, con fragmentos angulosos a sub-redondeados (Foto 13), cuya composición es dacítica (igual a la composición de las calderas antes mencionadas).

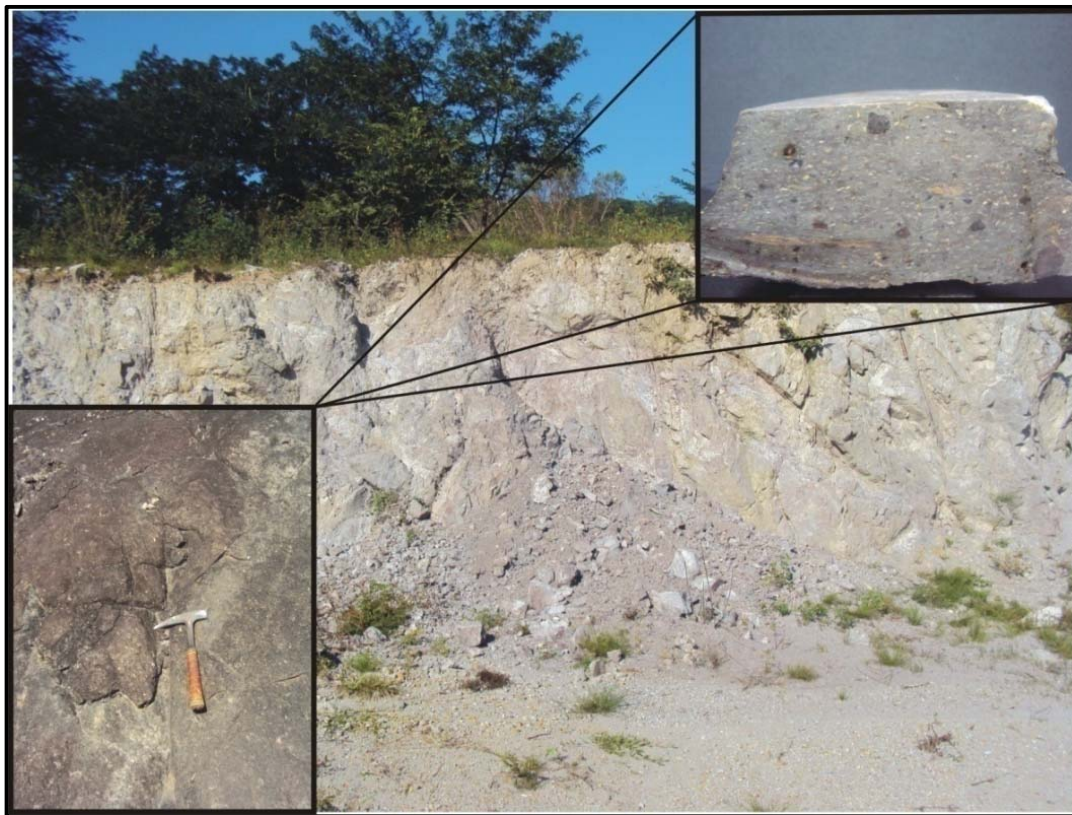


Foto 13. Afloramiento de toba dacítica en Santa Teresa, Achuapa (N1444099-E547079), Nótese coloración de la roca por meteorización y detalle de toba dacítica en la que se observan litos accidentales y plagioclasas argilizadas.

Estos depósitos piroclásticos se encuentran sobreyaciendo concordantemente a la unidad de dacitas, con un espesor aproximado de 310 m.

Las tobas dacíticas tienen su mejor expresión en Cerro La Chamuscada (N1454000-E511000) y Cerro El Alcaraván (N1445000-E525500) en Somotillo; Loma Agua Zarca (N1446824-E542274), Santa Teresa (N1444099-E547079),

Cerro La Cabrera (N1444099-E548040), Las Tablas (N1448900-E543000) y Sabana de la Villa (N1443043-E545913) en Achuapa.

Macroscópicamente es una roca color rosado-grisáceo, con textura porfírica psefítica, conteniendo tanto minerales máficos como minerales félsicos, entre ellos plagioclasas y anfíboles.

Microscópicamente muestran textura vitroclástica, la cual consiste de fenocristales anhedrales de plagioclas (Pl) tipo oligoclasa y anortita, anfíboles (Anf) tipo hornblenda cloritizados, biotitas (B), xenolitos (Xn) y matriz de vidrio volcánico y cuarzo secundario (Qz); generalmente las plagioclasas se encuentran fracturadas y lixiviadas, es frecuente encontrar esquirlas de estos cristales, cuyas superficies se exponen alteradas a arcillas (Foto 14), las alteraciones más comunes presentes en la muestra son: claritización, silicificación y carbonatización y en menor proporción albitización..

Las tobas dacíticas encontradas en Cerro La Cabrera (N1444099-E548040), poseen una matriz compuesta totalmente de vidrio volcánico de composición intermedia a ácida, variando entre obsidiana a algunos fragmentos de pómez, en esta se hace menos frecuente la presencia de xenolitos.

En general, estas tobas contienen minerales ferromagnesianos, principalmente cristales de anfíboles tipo hornblenda (Anf), cloritizados, producto de la desvitrificación del vidrio en la matriz; además contienen pequeñas escamas de mica tipo biotita, diseminadas principalmente en la matriz.

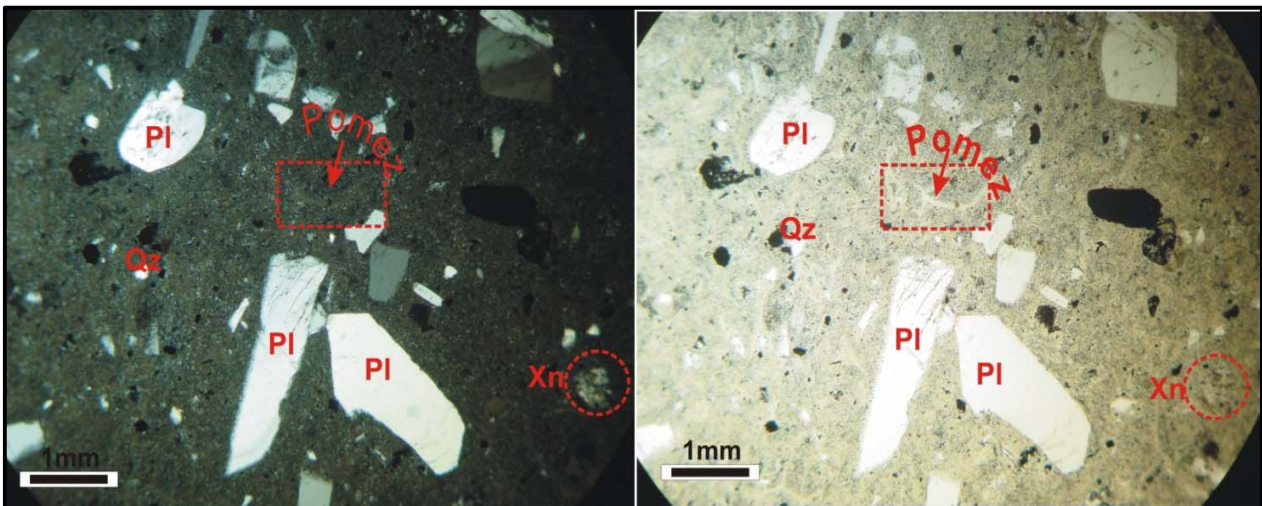


Foto 14. Textura Eutaxítica en la que se observan fenocristales de plagioclasas (Pl), Anfíboles (Anf), piroxeno (Px), xenolitos (Xn), en una matriz de vidrio volcánico desvitrificado. Cerro La Cabrera, Achuapa (N1444099-E548040).

En estas rocas el predominio de la textura vitroclástica y la presencia de menos del 10% de fenocristales en la matriz, muestra un índice alto de explosividad del magma, durante la emisión de los productos piroclásticos que dieron lugar a las tobas dacíticas.

La presencia de xenolitos dacíticos y riolíticos presentes en las muestras, indican una relación directa de las tobas dacíticas asociadas a la desintegración o colapso de los flancos de un domo y/o por una erupción explosiva previa al ascenso de un cuerpo dómico.

4.6 Unidad de Ignimbritas dacíticas (Id):

Se localizan en la parte norte y este del municipio de Achuapa, formando grandes plataformas o estructuras de mesas.

Sobreyacen a tobas dacíticas y coladas de lava de composición dacítica, con un espesor aproximado de 180 m.

Son originadas por flujos piroclásticos que viajan a ras de la superficie, como resultado de una nube ardiente generadas por el colapso de antiguas calderas ubicadas en dirección N-S.

Geomorfológicamente está asociada a la unidad de mesas (S5), formando capas planas con bordes de erosión abruptos y con fisuración columnar.

Las Ignimbritas, tienen su mejor expresión en Loma Agua Zarca (N1446824-E542274), Loma La Guaruma (N1447322-E543018) y Coordillera Horno Grande (N1447500-E551500).

Macroscópicamente, se observan capas de material compacto, con vesículas alargadas en dirección NW-SE, en general el depósito es color gris-claro a rojizo con un grado medio de meteorización.

Se pueden observar las partículas vidriosas que se han aplanado y acoplado intensamente unas a otras, en las muestras de mano, son reconocibles pedazos de rocas volcánicas y pómez, que han sido comprimidos y deformados hasta adquirir forma de lentes o fiames (Foto 15).



Foto 15. Afloramiento de Ignimbrita dacítica en Las Tablas, Achuapa (N1448900-E543000), Nótese la elongación de las vesículas en el afloramiento y estructuras de fiammes en la muestra de mano.

Microscópicamente muestran textura eutaxítica, la cual consiste de 30% de fenocristales y aproximadamente 70% de matriz vitrofírica (Foto 16).

La ignimbritas dacíticas encontradas en el área, poseen poca cantidad de fenocristales, en su mayoría están compuestas por relictos de cristales de plagioclasas (Pl) tipo andesina y labradorita, la mayoría de las cuales están totalmente pseudomorfizadas por arcillas y otras se encuentran lixiviadas por alteraciones hidrotermales y corroídas en los bordes por la matriz.

Los minerales ferromagnesianos presentes, son principalmente cristales de anfíboles tipo hornblenda (Anf), los cuales se encuentran cloritizados; además contienen pequeñas escamas de mica tipo biotita, diseminadas y sustituidas por cloritas, producto de la desvitrificación del vidrio volcánico.

Contienen una matriz vitrofírica, compuesta totalmente de vidrio volcánico de composición intermedia a ácida, contienen obsidiana y algunos fragmentos de pómez, en esta roca es frecuente encontrar xenolitos, ricos en microlitos de plagioclasas alteradas y corroídas minerales metálicos (Foto 16).

Se pueden observar cristales xenomórficos de cuarzo (Qz) secundario rellenando vesículas, cuyos bordes están opacitados* por minerales metálicos; el feldespato potásico se hace presente en la matriz y se expone como minerales arcillosos, ya que estos fueron alterados a arcillas.

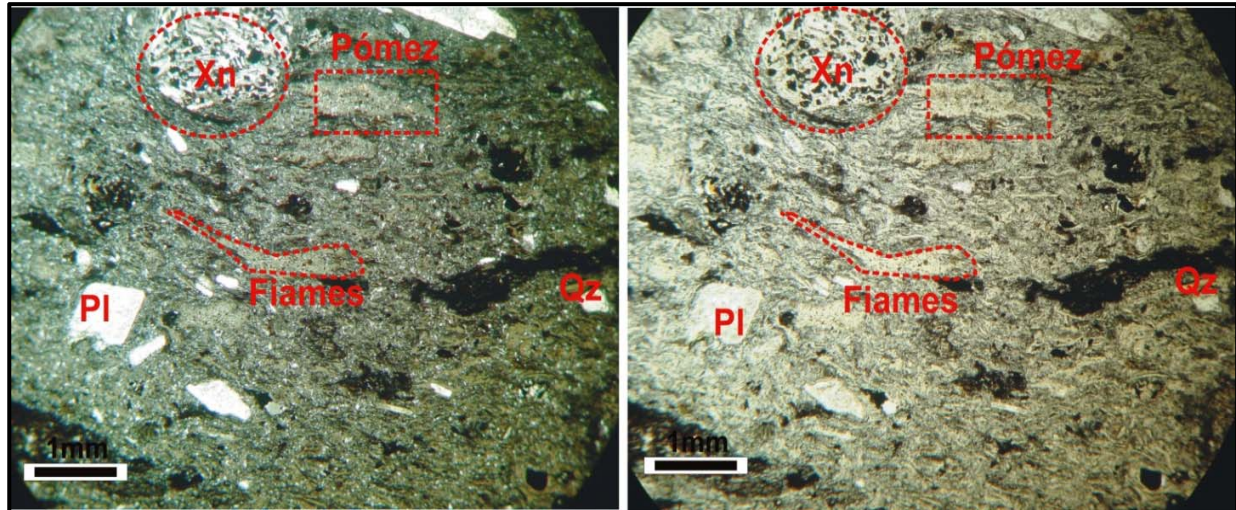


Foto 16. Textura Eutaxítica en la que se observan fragmentos de plagioclasas (Pl), los anfíboles (Anf) y piroxenos (Px), están totalmente cloritizados, producto de desvitrificación de la matriz, se observan xenolitos (Xn) ricos en plagioclasas y estructuras de fiammes rellenas principalmente por pómez.

Las ignimbritas fueron generadas por flujos de ceniza formados por una mezcla turbulenta de gases y materiales piroclásticos, de alta temperatura, arrojados en forma explosiva a partir de un cráter, estos se movieron rápidamente por las laderas de los volcanes que actualmente son estructuras caldéricas colapsadas.

Uno de los rasgos más característicos de las ignimbritas, es la existencia de deformaciones plásticas a altas temperaturas y la presencia de restos de esquirlas en una matriz vítrea homogénea.

4.7 Unidad de Riolitas (R):

Se localizan en tres áreas muy localizadas: Cerro El Corralito (N1453500-E515000), Cerro El Guaylo (N1450500-E536500) y Cerro Morroñoso (N1451091-E541483).

Se presentan en forma de flujos masivos en cerros pequeños formados como consecuencia de derrames cóncavos.

* Opacitación: Oscurecimiento y corrosión de minerales félsicos y máficos, por minerales metálicos oxidados (Mc.Pherson, 1981).

Macroscópicamente son masivas, de color violeta, textura afanítica, cuya estructura fluidal es característica (Foto 17).

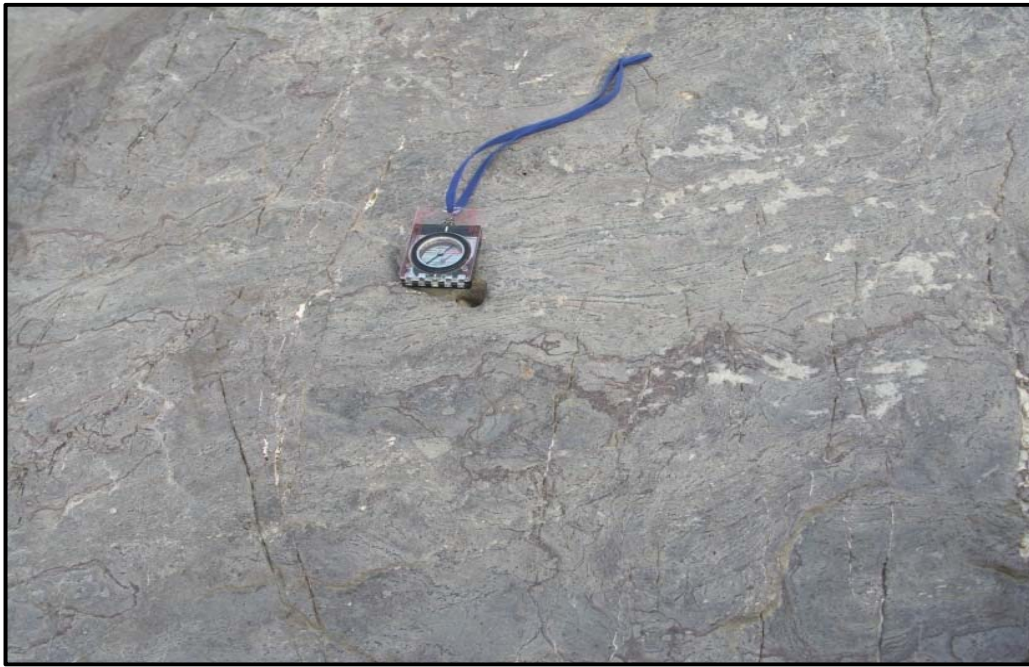


Foto 17. Roca riolítica aflorando en Cerro El Corralito, Somotillo (N1453500-E515000).

Microscópicamente muestran textura vitrofírica, donde los minerales de mayor abundancia son plagioclasas (Pl) tipo oligoclasa y andesina, cuarzo (Qz), feldespato potásico (Fk) tipo sanidina y biotitas (B).

El mineral más predominante en la roca es cuarzo, correspondiendo a más del 50% de los minerales primarios, de igual manera se exponen en textura microgranular producto de intercrecimiento de este en vesículas y zeolitas, además se desarrollan en forma de bandas creando texturas fluidales en la matriz (Foto 18).

El feldespato potásico se encuentra principalmente en la matriz, con textura microcristalina, los cuales están alterados a arcillas caoliníticas, apareciendo como característica principal de lavas silíceas.

Las plagioclasas encontradas en estas rocas son de tipo oligoclasa y corresponden a aproximadamente el 15% de los minerales primarios, los fenocristales presentes se encuentran peltizados y carbonatizados, indicando un ambiente post-magmático, algunos cristales de plagioclasas fueron pseudomorfeizados por epidotas y sericitas, asociadas a procesos hidrotermales posteriores a los procesos magmáticos.

Las micas biotitas se encuentran totalmente cloritizadas y constituyen alrededor de 5%, se presentan en forma de finas escamas diseminadas principalmente en la matriz.

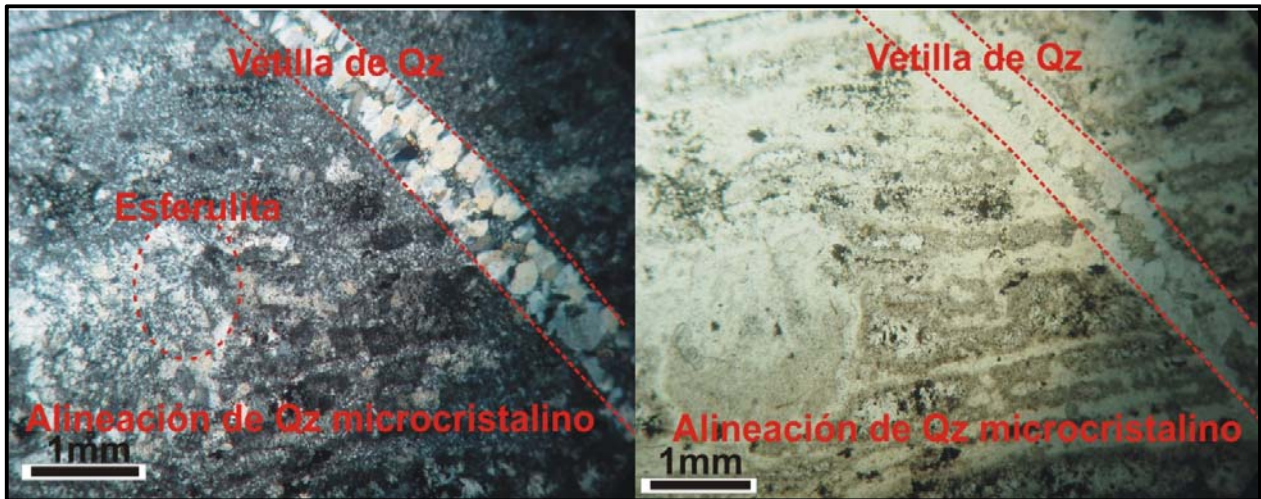


Foto 18. Textura fluidal en la que se observan intercrecimiento de cuarzo (Qz) en feldespato potásico, nótese vetilla de cuarzo secundario rellenando fracturas, Cerro El Corralito (N1453500-E515000).

Las riolitas forman texturas particulares que las distinguen del resto de las rocas volcánicas, como la presencia de esferulitas, la mayoría de las cuales se encuentran en vidrios silíceos que generalmente consisten en intercrecimientos radiales de fibras de cuarzo y feldespato.

Estas estructuras representan crecimiento rápido en una lava vítrea sujeta a enfriamiento rápido, creando también esferulitas por desvitrificación del vidrio de la matriz.

Una característica particular de las riolitas, es la tendencia al alineamiento paralelo o subparalelo de los diversos minerales, esencialmente del cuarzo, esto se debe al alto contenido en sílice que las hace más viscosas, cuyo movimiento tiene lugar en lavas aun líquidas que fluyen a través de un conducto y al contacto con la superficie se enfrían rápidamente.

Estas rocas, generalmente se encuentran formando domos, como el magma no contenía suficientes gases para hacer explosión, fluyó hacia la superficie a medida que creció lentamente, su superficie exterior se enfrió y se endureció, posteriormente se fracturó, dejando salir nuevo material a la superficie, los gases del magma quedaron atrapados por debajo de este, generando un abombamiento en la parte superior del domo, esto produjo la forma en cúpulas.

Estas estructuras volcánicas, generalmente se ubican en la zona central de estructuras caldéicas y en lineamientos a través de extensas zonas de falla.

4.8 Unidad de Rocas Intrusivas:

Se ubica principalmente en el área noreste y centro de Somotillo y en la parte suroeste de Achuapa; afloran en un área de aproximadamente 15 km² en Achuapa y 11 km² en el área de Somotillo.

Se exponen en forma de lomas alargadas con pendientes moderadas donde la roca es fresca y en las zonas donde la roca se encuentra intensamente meteorizada, desarrollan suelos arenosos de colores claros que varían desde gris claro a blancos, tal es el caso del granito.

En el área de estudio se exponen de forma parcial, donde el cuerpo plutónico de mayor extensión se ubica entre las hojas topográficas de El Sauce y Achuapa, cubriendo un área aproximada de 15 km². Sin embargo, en el área de Somotillo, se expresa en forma de pequeños cuerpos plutónicos intruyendo a rocas andesíticas.

Esta unidad está formada por rocas intrusivas ácidas, que varían en composición desde cuarzodioritas y granodioritas hasta granitos, provenientes de extensos cuerpos plutónicos (Foto 19) y rocas monzograníticas y cuarzo monzoníticas descritas por Velásquez, G. (2008); todas ellas intruyendo a rocas volcánicas Terciarias de composición andesítica, correspondiendo a la última fase de magmatismo en el área de estudio.

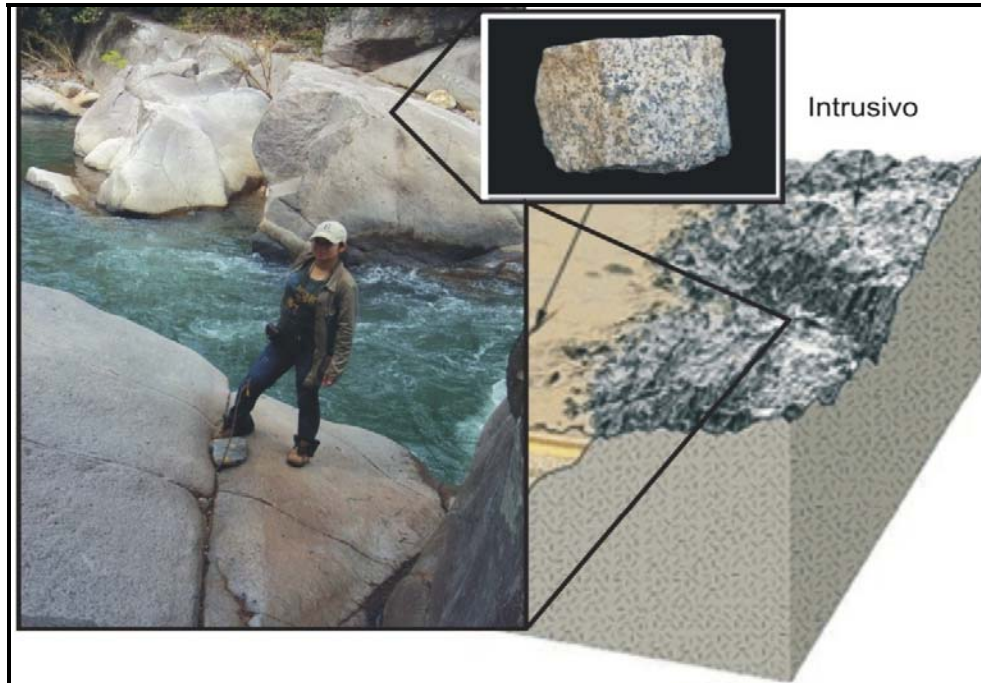


Foto 19. Cuerpo Intrusivo con extensión que supera los 10 km, nótese afloramiento y detalle de rocas granodioríticas expuestas en la ribera del Río El Gallo, Somotillo (N1453000-E521000).

4.8.1 Sub-unidad de Cuarzodioritas (Qzd):

Las cuarzodioritas se exponen principalmente al sureste de Somotillo en el Palmar (N1440900-E526000), al noreste en El Ponce (N1453500-E521500) y en el Cerro La Pitahayas (N1448800-E520500).

Microscópicamente esta roca es holocritalina, con textura hipidiomórfica granular, contiene como minerales principales: cuarzo (Qz), feldespato potásico (Fk) tipo ortosa, Plagioclasas (Pl), tipo oligoclasa y andesina, Anfíboles tipo hornblenda (Anf), Piroxenos (Px), tipo augita y como mineral accesorio apatito (A).

Se pueden observar entre 30%-40% de fenocristales de cuarzo sub-hédrico e intercrecimiento del mismo con ortosa, formando texturas micrográficas características de rocas ácidas (Foto 20), las cuales envuelven una relación geométrica similar entre cuarzo y feldespato alcalino (sanidina).

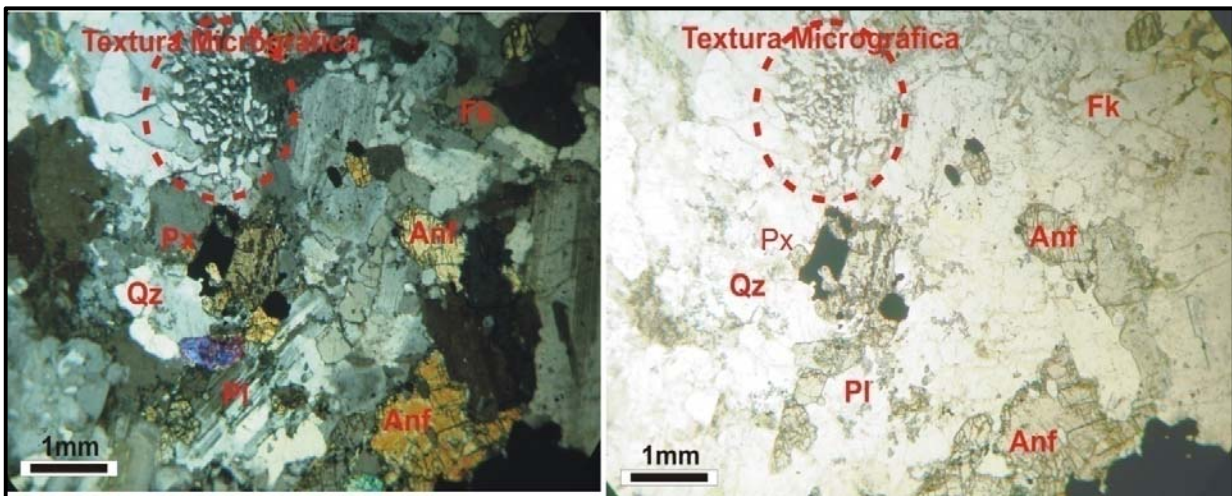


Foto 20. Nótese intercrecimiento de cuarzo (Qz) en feldespato potásico (Fk), generando textura micrográfica, principal característica de rocas intrusivas ácidas, Cerro La Pitahaya (N1446700-E519200).

El contenido de plagioclasas tipo andesina y oligoclasa, varían desde 50% hasta 60%, estas poseen formas sub-hédricas a anhedrales, intensamente fracturadas y pelitizadas.

Entre los feldespatos potásicos se encuentra preferentemente ortoclasa y sanidina, los cuales se encuentran rellenando intersticios entre las plagioclasas; También se hacen presentes anfíboles y piroxenos en proporciones entre 10% a 5%; los anfíboles tipo hornblenda son de color pardo claro, generalmente sub-hedrales, alterados a cloritas y pennina.

Los piroxenos tipo augita se encuentran en tamaños variables desde 0.2 mm hasta 0.1 mm, presentándose en pequeños cristales sub-hédricos.

Los principales minerales de alteración son clorita y pennina, como minerales accesorios se encuentran apatito y zircón en proporciones menores al 2%, estos corresponden a minerales formados bajo condiciones constantes de temperaturas, como las ocurridas en zonas de soluciones hidotermales.

4.8.2 Sub-unidad de Granodioritas (Gd):

Las granodioritas se encuentran en El Guasimal (N1454900-E518900) y Chagüite Seco (N1454200-E522100), Valle El Cangrejo (N1438068-E531482), Los Playones (N1438819-E534905) y Río Grande (N1437300-E543100).

Estas rocas se encuentran formadas principalmente por feldespato potásico (Fk) tipo oligoclasa, Cuarzo (Qz), Plagioclasas (Pl) tipo oligoclasa, Anfíboles (Anf) tipo hornblenda y Biotitas (B).

Están constituidas por cuarzo como mineral primario en forma de cristales sub-hedricos, conformando alrededor de 30% de los minerales primarios, generalmente son opacitados y con bordes corroídos por minerales metálicos, de igual manera se presenta intercrecimiento de este en feldespatos potásicos, generando texturas granofíricas (Foto 21) y rellenando intersticios entre plagioclasas, formando texturas consertales.

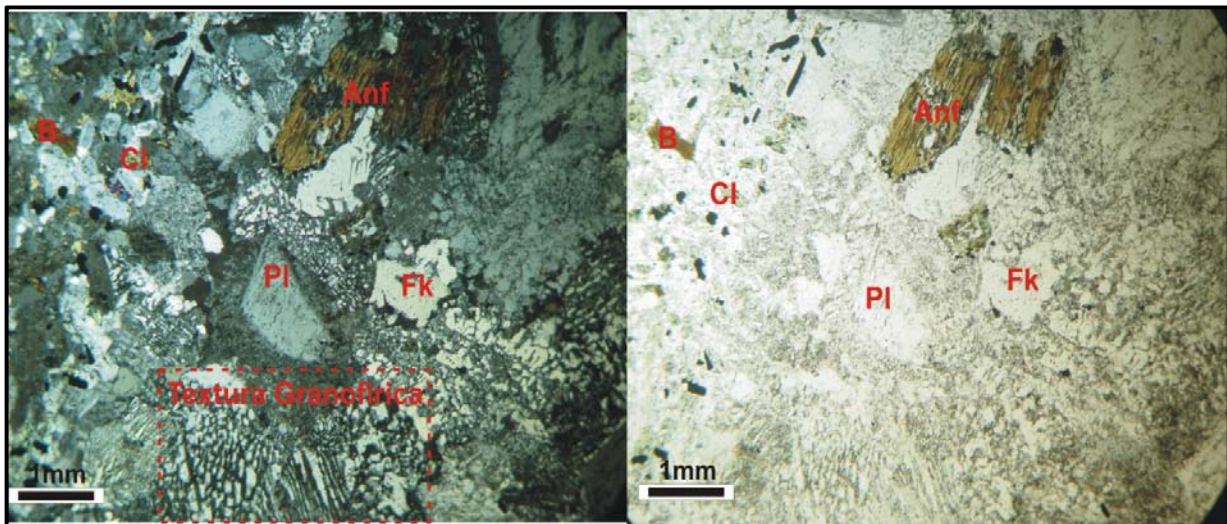


Foto 21. Textura granofírica por intercrecimiento de cuarzo en feldespato potásico, se observan anfíboles cloritizados y corroídos por minerales metálicos, El Guasimal (N1454900-E518900).

Las plagioclasas encontradas son de tipo oligoclasa, cuyo porcentaje varía de 30% a 35%, sus cristales son sub-hedrales, algunas de ellas sausrinizadas, pelitizadas y carbonatizadas.

Los feldespatos potásicos observados son tipo ortoclasa y sanidina, en forma sub-hédrica, constituyendo cerca del 15% de los minerales principales, las ortoclasas están siendo alteradas a arcillas, cuyos bordes corroídos indican alteración gradual.

Los minerales máficos presentes son anfíboles y micas, específicamente hornblenda y biotita respectivamente, calculándose un porcentaje entre 10% a 5%; ambos minerales están siendo alterados a cloritas y los anfíboles también están alterándose a pennina.

Las alteraciones más comunes encontradas en estas rocas son cloritización y carbonatización, ambas pseudomorfizando minerales ferromagnesianos y rellenando fracturas.

Las granodioritas se forman por el enfriamiento lento de magma por debajo de la superficie, a temperaturas mayores y elevadas presiones, estas condiciones influyen en el desarrollo de texturas y estructuras de fenocristales bien desarrollados, sin embargo su composición es más rica en sílice y menos rica en feldespato potásico que su preceptor el granito.

4.8.3 Sub-unidad de Granito (G):

Las rocas graníticas encontradas en el área, se localizan principalmente en Río El Gallo (N1452800-E520500) y Mata de Cenícero (N1454500-E524500), en Somotillo.

El análisis microscópico dio como resultado la presencia de los siguientes minerales: feldespato potásico (Fk) tipo ortosa, cuarzo (Qz), biotita (B) y anfíboles (Anf) tipo hornblenda.

Generalmente en esta roca se producen texturas de intercrecimiento de cuarzo en feldespato potásico, como son la textura micrográfica y texturas arborescentes, indicando mayor grado de acidéz de la roca.

Los granitos son rocas de grano grueso, leucocráticas, que contienen mucho cuarzo y feldespato potásico, constituyendo alrededor de un 70% de minerales esenciales y tan solo 30% de minerales ferromagnesianos.

El cuarzo constituye el 40% de los minerales principales y se presenta en la roca como fenocristales anhédricos, generalmente corroídos por minerales metálicos u opacitados; el feldespato potásico observado es sanidina, anortoclasa y ortosa con formas sub-hedrales a anhédricas como es el caso de la ortosa.

Generalmente entre ambos minerales se producen texturas micrográficas (Foto 22), generadas por intercrecimiento de cuarzo en los feldespatos, o bien se les encuentra rellenando intersticios.

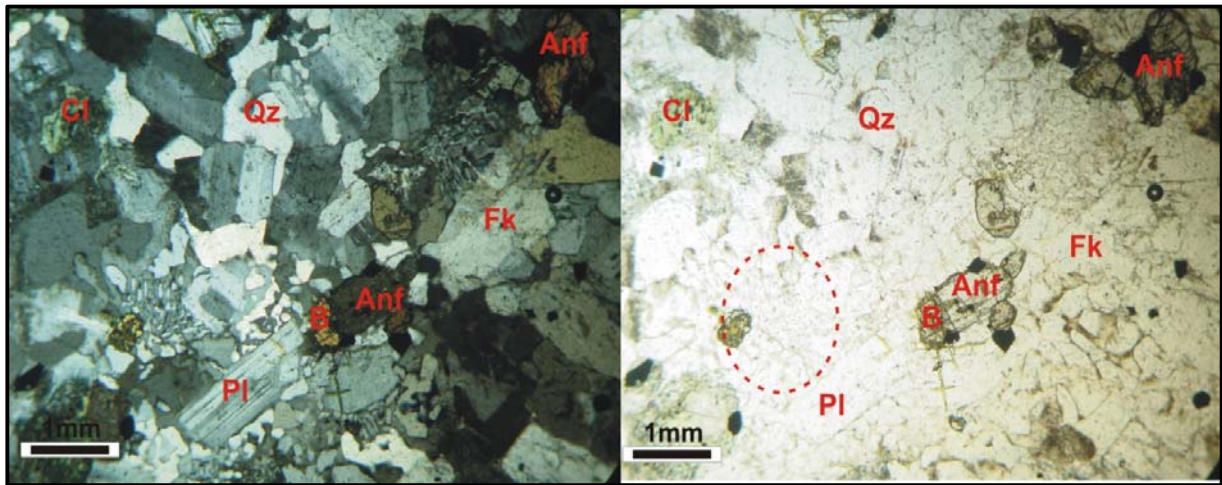


Foto 22. Intercrecimiento de cuarzo en feldespato potásico (Textura Micrográfica), anfíboles y biotitas cloritizadas, Mata de Cenícero, Somotillo (N1454500-E524500).

Los minerales ferromagnesianos como las biotitas y las hornblendas, se muestran en cristales sub-hédricos a xenomórficos, la mayor parte de los cuales están siendo pseudomorfizados por cloritas, generalmente se encuentran epidotas y apatitos como minerales accesorios.

Una variación en la composición química de los cuerpos intrusivos del área de estudio, hace suponer que se dio una diferenciación magmática progresiva, ya que estas varían desde granodioritas con textura aplítica hasta granitos hornbléndicos (Foto 23).

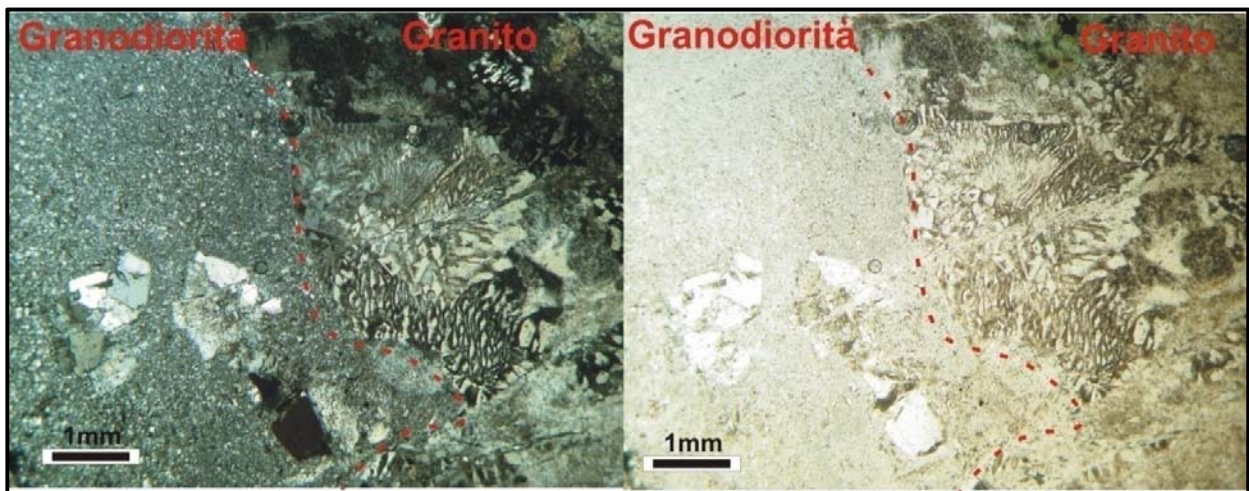


Foto 23. Contacto entre Granodiorita y granito producto de diferenciación magmática, nótese en el granito textura micrográfica y mayor desarrollo de cristales.

En la foto 23, se observa un contacto entre granito y granodiorita, mostrando la diferenciación que ha sufrido el magma en su ascenso.

El emplazamiento del magma originalmente heterogéneo, dio como resultado la segregación de composición y texturas diferentes, en consecuencia, el contacto entre ambas texturas no corresponde a esfuerzos tectónicos.

4.9 Unidad de Depósitos aluviales (Qal):

Esta unidad se localiza principalmente en los poblados: Somotillo, Valle Las Pilas, Llano Los Coyotes, Valle El Jiñocuao, Llano Chico Ramos, Llano La Coyotera, Las Aceitunas y en la confluencia del río El Guasaule. También se expone en el área de Achuapa, Llano El capulín, Llano Sabana Grande, Llano El limón y Llano San Antonio.

Geomorfológicamente, corresponde a la unidad de origen fluvial, dentro de la sub-unidad de llanuras aluviales (F3).

Se expone en forma de llanuras, rellenas de material arrastrado tanto por las corrientes de aguas superficiales como por el viento, que transporta el material más fino desde las zonas altas hasta depositarlas en cuencas de sedimentación.



Foto 24. Véase variación de tamaños de material que compone la unidad aluvial, Río Achuapita, Achuapa (N1443500-E545000).

El material encontrado posee tamaños que varían desde bloques hasta material fino tamaño grava (Foto 24), el cual en ocasiones sirve de cementante entre los intersticios de las rocas. Comprende el techo de la columna estratigráfica, con un espesor estimado de 15m y se encuentra sobre-yaciendo a los cuerpos intrusivos encontrados en el área de estudio.

CAPITULO V

GEOMORFOLOGIA

El área de estudio se ubica en la Región noroccidental de Nicaragua, la que está caracterizada por presentar un paisaje geomórfico muy variable. Topográficamente, esta región es la más elevada del país con una elevación máxima de 2,107 m, localizada en el Cerro Mogotón. Se extiende longitudinalmente en una faja montañosa en dirección NW-SE y ancho de dirección W-E, desde el borde Noroccidental de la Depresión Nicaragüense hasta las Llanuras de la Costa Atlántica.

El área de Somotillo y Achuapa, se encuentra ubicada dentro de esta región, cuya morfología se caracteriza por mostrar zonas llanas de edad Cuaternario y elevados cerros de edades Mioceno-Plioceno (Parson Corporation, 1972).

En el área de estudio se han clasificado 6 unidades geomorfológicas, de acuerdo a la morfogénesis del terreno y formas de las estructuras geológicas (Anexo 3), tomando como base los criterios usados por Madrigal & Rojas (1980) y Van Zuidam (1986), se describen a continuación (Figura 6)**:

** Ver Mapa Geomorfológico a escala 1:50,000 en Anexo 5.



Figura 6.

5.1 Unidad de Colinas Denudacionales (D3)

Comprende las comarcas de: El Consuelo, El Cacao, El Barro, Los Araditos, La Flor y Calderón, en los alrededores de Achuapa; El Rodeito, El Obraje, Las Pilas, Las Mariñas y El Jiñocuao, en los alrededores de Somotillo.

Abarca un área aproximada de 160 km², cubriendo un 20% del área total de estudio, su máxima elevación se localiza en Loma La Flor (N1439700-532500) en el municipio de Achuapa con 475 m y 275 m desde su base. El relieve de esta unidad se caracteriza por poseer pendientes poco escarpadas entre 10°-20° en dirección NE-SW.

Posee un sistema de drenaje sub-paralelo a rectangular, indicando la presencia de fallas y fracturas que rigen las formas de sus cauces.

Las geoformas características en esta área, corresponden a colinas denudacionales en forma de montículos con escasa vegetación, cuyos cerros y lomas se encuentran severamente disectados*, mostrando topografía ondulada y pendientes suaves, expresándose como laderas alargadas que definen una expresión geomórfica positiva (Foto 25).



Foto 25. Colinas denudacionales A) Comarca El Rodeito, Somotillo (N1445500-E521500) y B) Los Araditos, Achuapa (N1437800-E528000).

Esta unidad se ha originado por diferentes procesos denudativos que actúan en sus diferentes facetas, entre los cuales se destaca el agua, que junto con el viento, alteran, desprenden y arrastran los fragmentos de rocas y suelos,

* Disectados: sin. Erosionado, Madrigal & Rojas (1980).

desde las partes montañosas hasta las cuencas de sedimentación, produciendo erosión intensa en suelos y rocas del área de estudio.

Litológicamente las rocas que conforman esta unidad corresponden a la unidad de dacitas (Da) y a la unidad de andesitas (An), las cuales se encuentran medianamente a intensamente meteorizadas y muy fracturadas; de acuerdo a Mc.Birney & William (1965), estas rocas son de edad Plioceno.

5.2 Unidad de Origen Estructural (S)

La unidad de origen estructural está caracterizada por estar estrechamente vinculado a zonas de fallas, donde los factores tectónicos, modelan su relieve.

Esta Unidad se sub-divide en:

5.2.1 Sub-Unidad de Mesas (S5)

Esta sub-unidad se localiza en la parte oeste del municipio de Achuapa, abarcando Loma La Guaruma (N1446500-E544500) y Loma La Peña de Agua Zarca (N1446500-E542500).

La sub-unidad compone un 2% del área, posee alturas máximas entre 600 m y 700 m, en general se caracteriza por presentar un relieve plano en la plataforma y fuertes pendientes en la zona de escarpe, modelando un relieve en mesas, formadas como producto de fallamiento en sus laderas y levantamientos tectónicos de los bloques que son afectados.

Las fallas regionales con las que están asociadas corresponden a: Falla La Calera (N1446600-E541000) y Falla La Guaruma (N1446000-E545000), ambas de rumbo NE-SW.

La erosión también ha contribuido al desarrollo y exposición de esta sub-unidad; particularmente contienen en su cima, una plataforma plana (Foto 26) de roca más dura que las que componen sus laderas, produciéndose así erosión diferencial entre la parte superior y la zona de escarpe.

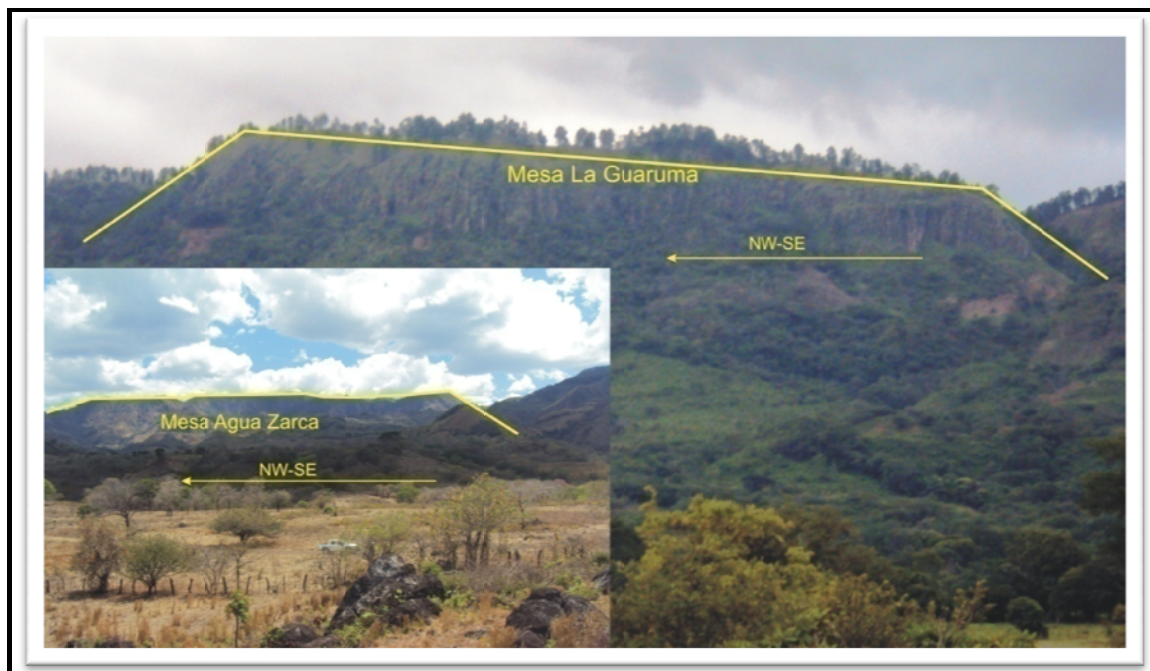


Foto 26. Mesa Loma Agua Zarca y La Guaruma, Achuapa. Véase la cima plana, característica de estas estructuras.

La mesa estructural Loma de Agua Zarca, posee un área total de 10 km², la zona de plataforma tiene 1.5 km², su máxima elevación corresponde a 700 m, con pendientes mayores a 35° en la zona de escarpe.

La mesa Loma La Guaruma, contiene un área total de 3 km², su altura máxima es de 600 m, con pendientes que varían de 30°-35° en dirección NE-SW.

El patrón de drenaje característico de esta unidad es rectangular, localmente recorre las trazas de Falla La Guaruma de dirección N65°E y Falla La Calera de dirección N40°E.

Litológicamente, están compuestas por tobas dacíticas, cubiertas por ignimbrítas dacíticas, soldadas, compactas, falladas y levemente fracturadas, de edad Terciario.

5.2.2 Sub-Unidad de Domos (S10)

Comprende los cerros: Loma Lomo de Caballo (N1447300-E539700) y Cerro El Guaylo (N1450700-E536500), en Achuapa y un alineamiento de cerros en dirección NW-SE (Foto 27), donde se ubica el caserío El Carpintero (N1438200-E509100), al sur de Somotillo.



Foto 27. Lineamiento de Domos Dacíticos en Somotillo-Villanueva, Detalle de Domo Dacítico El Carpintero, Somotillo (N1438200-E509100).

En general presentan una longitud promedio de 1 km y elevaciones desde su base que van de 100 m a 400 m, con una diferencia altitudinal de 300 m.

Generalmente su relieve forma cúpulas, con cimas sub-redondeadas, otras formas características son los criptodomos, cuya cima se encuentra muy fracturada, estas estructuras corresponden a colinas con pendientes escarpadas a moderadamente escarpadas, las cuales se encuentran medianamente disectadas por acción erosiva del agua y el viento.

Estas estructuras se formaron a partir de magmas viscosos que ascendieron a la superficie por medio de una falla profunda o bien por un conducto volcánico.

Litológicamente los domos están compuestos por rocas extrusivas ácidas que corresponden con la unidad de dacitas (Da) y Rioltas (R) de edad Mioceno-Plioceno.

5.3 Unidad de Origen Volcánico (V)

Es la unidad más extensa del área de estudio, corresponde a zonas donde la acción volcánica ha producido formas de relieves particulares, sugiriendo actividad volcánica de edad Terciario, tanto por la presencia de edificios volcánicos como de los productos emitidos que aportaron nuevo material y moldearon la superficie del área.

Estas formas se originaron como consecuencia de la intensa actividad volcánica que se dio en la región central de Nicaragua, durante el Terciario, la cual originó siete de las más grandes, importantes y voluminosas calderas de Achuapa y Somotillo, a saber las calderas y estructuras semi-circulares de:

- | | | |
|----------------------|---------------|----------------|
| 1. Achuapa | 4. El Pajuil | 8. El Pilón |
| 2. Piedras Gordas | 5. El Danto | 9. El Guasimal |
| 3. San Juan de Limay | 6. Monte Frío | |
| 4. El Guaylo | 7. La Danta | |

Las geoformas de esta unidad se dividieron en:

5.3.1 Sub-Unidad de Coladas de Lava (V9)

Se ubica principalmente en la zona este del área de estudio, algunos sitios representativos son: Comarca El Pajarito, Comarca El Guaylo, Cordillera Horno Grande y Comarca El Campamento, en la zona este de Achuapa, Comarca San Lorenzo, Comarca El Regén y Comarca La Pimienta, al norte y Las Liras de Paso Hondo en Somotillo.

Comprende aproximadamente el 30% del área total de estudio, cubriendo un área de 200 km², posee un paisaje ondulado, con pendientes escarpadas a moderadamente escarpadas y ligeramente disectadas que varían entre 15°-25°, en dirección oeste; su elevación máxima se localiza en la Cordillera Horno Grande (N1448500-E551500), al este del municipio de Achuapa con 1226 m.

La Sub-Unidad de lavas se encuentra relacionada con la sub-unidad de remanentes de caldera, ya que su origen se debe a intensas explosiones provenientes de estas antiguas estructuras volcánicas.

En el área de Achuapa, se pueden observar numerosos frentes de coladas de lavas (como se muestra en la foto 28) y en la zona oeste del área corresponden a la base de la columna estratigráfica del área de estudio.



Foto 28. Colada de Lava en bloques de composición Dacítica, Las Liras de Paso Hondo, Somotillo (N1454500-E512500). Véase contacto basal entre la colada de lava dacítica y toba andesítica.

Litológicamente, la sub-unidad consiste de lavas de composición dacítica (Da) y andesítica (An), algunas cubiertas tanto por suelos residuales como por flujos piroclásticos de tobas dacíticas (Td) e ignimbritas dacíticas (Id), quedando al descubierto únicamente relictos de estas coladas.

5.3.2 Sub-Unidad de Remanentes de Caldera (V14)

La mayoría de estas estructuras se encuentran ubicadas en la hoja topográfica de Somotillo y al oeste de Achuapa, los cuales parecen alinearse en dirección NW-SE.

Esta sub-unidad es la más predominante en el área, consta de colinas con pendientes muy escarpadas y moderadamente disectadas, las que alcanzan desde 25° hasta mayores de 40° y sus elevaciones varían de 100 m a 1352 m (Foto 29).

Las unidades de menor elevación corresponden a antiguos cráteres de explosión, la mayoría de ellos ubicados en la hoja topográfica de Somotillo y al oeste de Achuapa, los cuales parecen alinearse en dirección NW-SE.

Las zonas de mayor elevación corresponden a antiguos bordes de caldera emplazados dentro de una depresión, en dirección N-S, las que además de poseer mayor elevación, con respecto a las estructuras volcánicas ubicadas al oeste del área, también poseen mayor diámetro.



Foto 29. Remanente de la estructura semi-circular El Guasimal, Somotillo (N1454500-E520000).

A continuación se describe la morfometría de cada una de las estructuras volcánicas:

Morfometría de Remanentes de Caldera Somotillo y Achuapa						
Nombre	Eje mayor	Eje menor	Pendiente	Elevación máxima (m.s.n.m)	Sitio	Tipo de Roca
Caldera Achuapa	17km	9km	25°-30°	883	Achuapa	Dacita
Caldera San Juan de Limay	22km	10km	mayor de 35°	1352	Achuapa	Dacita
Caldera El Guaylo	8.5km	7km	25°-30°	643	Achuapa	Dacita
Caldera Monte Frío	6km	4km	15°-25°	400	Achuapa	Andesita
Caldera Piedras Gordas	5km	3.5km	15°-35°	905	Achuapa	Andesita
Caldera El Danto	6km	5km	15°-25°	300	Somotillo	Andesita
Caldera La Danta	4km	2.5km	15°-25°	370	Somotillo	Andesita
E.Semi-circular El Pilón	1.5km	1km	15°-20°	100	Somotillo	Andesita
E.Semi-circular El pajuil	3.5km	3km	15°-25°	180	Somotillo	Andesita
E.Semi-circular El Guasimal	1.5km	1km	15°-25°	300m	Somotillo	Andesita

Tabla 2. Morfometría de remanentes de caldera en el área de estudio.

Su relieve está relacionado a cordilleras montañosas donde el drenaje radial es predominante, volviéndose dendrítico a medida que avanzan hacia zonas más bajas.

Litológicamente, corresponden a rocas extrusivas intermedias principalmente: dacitas (Da) y andesitas (An), sin embargo, en los bordes de las estructuras se han encontrado flujos piroclásticos de dacitas (Td) y andesitas (Tan) e ignimbrítas dacíticas (Id).

5.4 Sub-unidad de Colinas Volcánicas (V16)

Se localizan principalmente en el extremo oeste del área de estudio, en el municipio de Somotillo, extendiéndose por aproximadamente 250 km².

Corresponden a colinas de elevaciones menores a 300 m y pendientes moderadas a bajas entre 5° y 10°, en dirección NW-SE.

En el área oeste de Somotillo, se localizan cuatro alineamientos colinas volcánicas (Foto 30), sugiriendo una zona de emisión de lava a través de fallas paralelas a sub-paralelas en dirección NW-SE, correspondiente a la dirección actual de la zona de subducción.

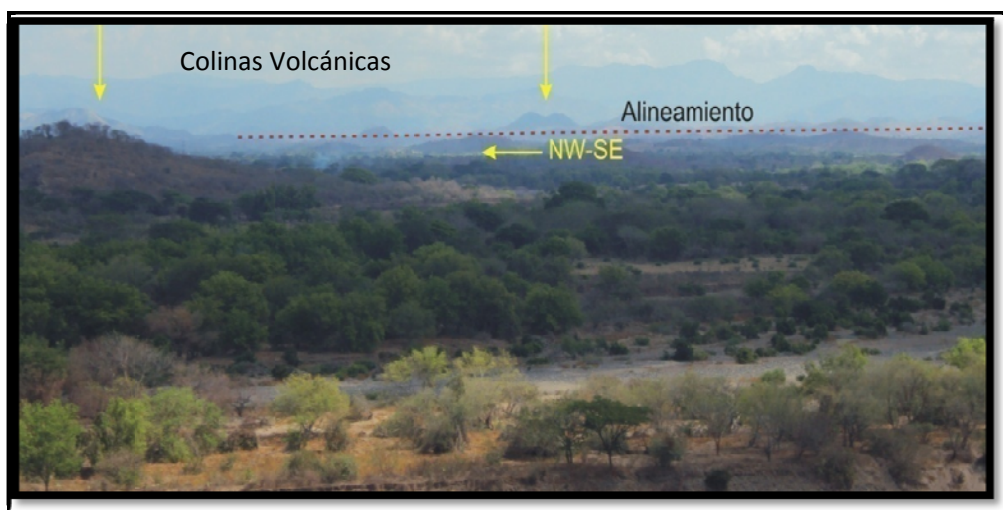


Foto 30. Sub-Unidad de Colinas Volcánicas, nótese alineamiento de cerros en Las Colinas (N1443400-E511800), suroeste de Somotillo.

Litológicamente están constituidos por rocas volcánicas extrusivas intermedias, principalmente andesitas (An) y dacitas (Da), cuya base corresponde a andesitas (An) y tobas andesíticas (Tan) y dacíticas (Td), correspondientes tanto a productos volcánicos de explosión como a material arrastrado de las laderas de los cerros.

5.5 Unidad de Origen Intrusivo (I)

Su mejor exposición se localiza al sur del municipio de Achuapa, específicamente en: Cerro El Arrayán (N1437800-E541500), Loma El Consuelo (N1437900-E542500) y Cerro Los Corralitos (N1438950-E541200). También se expone en la Comarca Los Playones, en: Paso Hondo (N1438100-E536200), El Jocote (N1437800-E535900) y Los Playones (1437980-E534500).

Al igual que en el norte del área de Somotillo formando pequeños cuerpos intrusivos que se exhiben generalmente a lo largo del Río Negro, en la Comunidad La Pimienta (N1449100-E525300) y en el Río El Gallo, en la comunidad de La Carreta (N1455500-E518500) y en el río Ubuto (N1455500-E521000).

Este cuerpo intrusivo se extiende por un área aproximada de 18 km² en Achuapa, sus pendientes varían entre 15° y 30°; su máxima elevación es la Loma Piedra Parada (N1438600-E538500) con 444 m.

Sus laderas varían de escarpadas a moderadamente escarpadas, se encuentran medianamente disectadas y origina valles profundos en forma de “V”, con drenaje paralelo a sub-paralelo, lo cual demuestra estar siendo afectado por las fallas El Tule, El Porvenir, Los Araditos, La Calera, Los Playones y La Consulta, que lo atraviesan en dirección NW-SE y NE-SW.

Litológicamente corresponden a la unidad de rocas intrusivas (I) y a las sub-unidades de granodiorita (Gd), granito (G) y cuarzodioritas (Qzd).

Estas rocas intrusivas se formaron a partir de magmas que ascendieron a través de zonas de debilidades que han originado fallas y fracturas profundas. Una vez introducido el magma en la zona de debilidad, este se enfrió y se solidificó en el interior de la corteza terrestre, sin embargo, estos cuerpos solo son visibles cuando la corteza asciende y la erosión descubre las rocas en la superficie.

5.6 Unidad de Origen Fluvial (F)

Se originan por el relleno de material aluvial, como consecuencia del arrastre y depositación de las corrientes de aguas superficiales a través de ríos y quebradas, depositando el material en zonas de depresiones topográficas.

Estas formas se caracterizan por poseer pendientes bajas entre 0°-5° en dirección oeste, con elevaciones menores a 100 m y se relacionan geológicamente con la unidad de depósitos aluviales (Qal).

5.6.1 Sub-Unidad de Llanuras Aluviales (F3)

Se ubica principalmente en la parte suroeste de Somotillo, comprendiendo los sitios de: Llano El Rincón del Cenicerol (N1438000-E501000), Llano Chico Ramos (N1437000-E507000), Llano La Lapa (N1437900-E510900), Llano San Antonio (N1443000-E542000), Llano Sabana Grande (N1442000-E552500), Llano El Limón (1437000-E553000) y Llano El Capulín (N141454000-E542500).

El patrón de drenaje de esta sub-unidad es dendrítico, variando a sub-dendrítico en el sector este del área.

El relieve se caracteriza por poseer zonas llanas con pendientes suaves, que fluctúan entre 0° a 20°, creando contrastes altitudinales con la unidad de remanentes de calderas (Foto 31).



Foto 31. Llanura Aluvial, Llano San Antonio (N1443000-E542000), nótese contraste altitudinal entre ambas unidades geomorfológicas.

Estructuralmente se interpreta que la sub-unidad se encuentra afectada por fallas y fracturas, en dirección NW-SE, NE-SW y N-S, esto fue observado al seguir la continuidad de las líneas de fallas en el mapa de estructuras y en el campo, sin embargo, la continua depositación de nuevo material ha cubierto total o parcialmente las zonas de fallas.

5.6.2 Sub-Unidad de Terrazas Fluviales (F6)

Estas geoformas se caracterizan por exhibir terrazas aluviales (Foto 32), las que se localizan principalmente:

- a) Desde la confluencia del Río El Guasaule hasta el municipio de Somotillo, a través del Río El Gallo, bifurcándose hasta Las Aceitunas a través del Río Negro.
- b) En los cursos actuales del Río Negro en la Comarca La Consulta y Comarca Valle Las Pilas a través del Río Achupita en Somotillo.
- c) En el municipio de Achuapa en las riberas del Río El Coyolar.

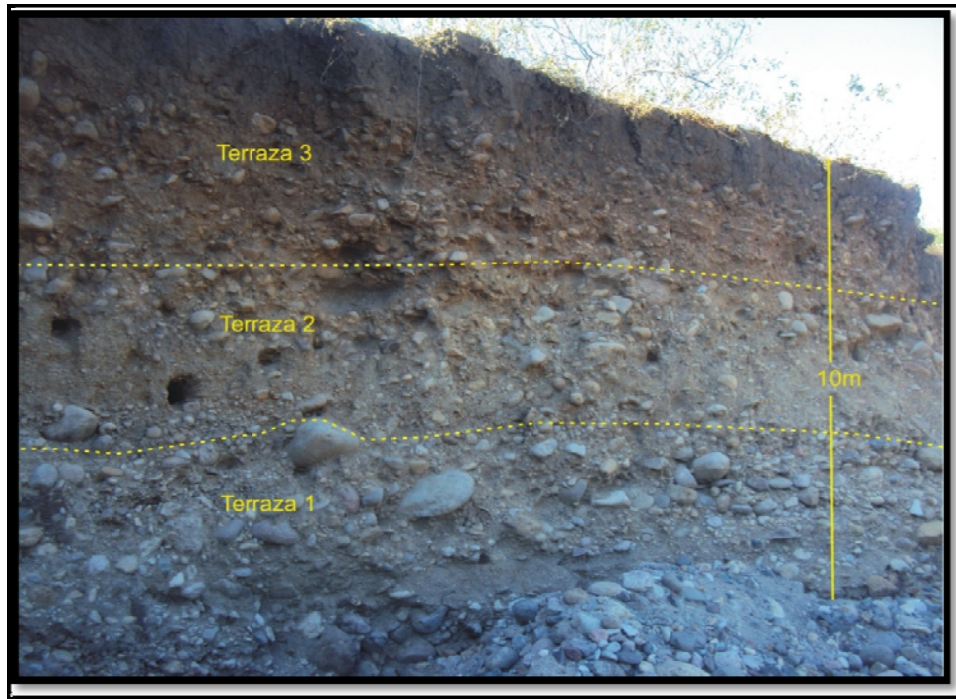


Foto 32. Unidad de Origen Fluvial. Río El Coyolar, Achuapa (N1443100-E544970). Nótese 3 eventos de inundación evidenciado por terrazas fluviales acumuladas consecutivamente.

Morfológicamente poseen formas alargadas en la dirección de la corriente y suelen presentar pendientes menores de 5°.

Las Terrazas fluviales son depósitos que se localizan en las riberas de los ríos, se generan como consecuencia de la erosión y depositación de las corrientes de agua, estas erosionan, transportan y depositan sus cargas en zonas de bajas pendientes a lo largo de cauces, quebradas y ribera de los ríos, así mismo en valles o en llanuras aluviales.

Los tipos de rocas predominantes son bloques y gravas dentro de una matriz arenosa, generalmente se encuentran distintas fases de inundación mostrando varias capas de material depositado por la crecida de los ríos en la época de invierno (Mayo-Octubre).

CAPITULO VI

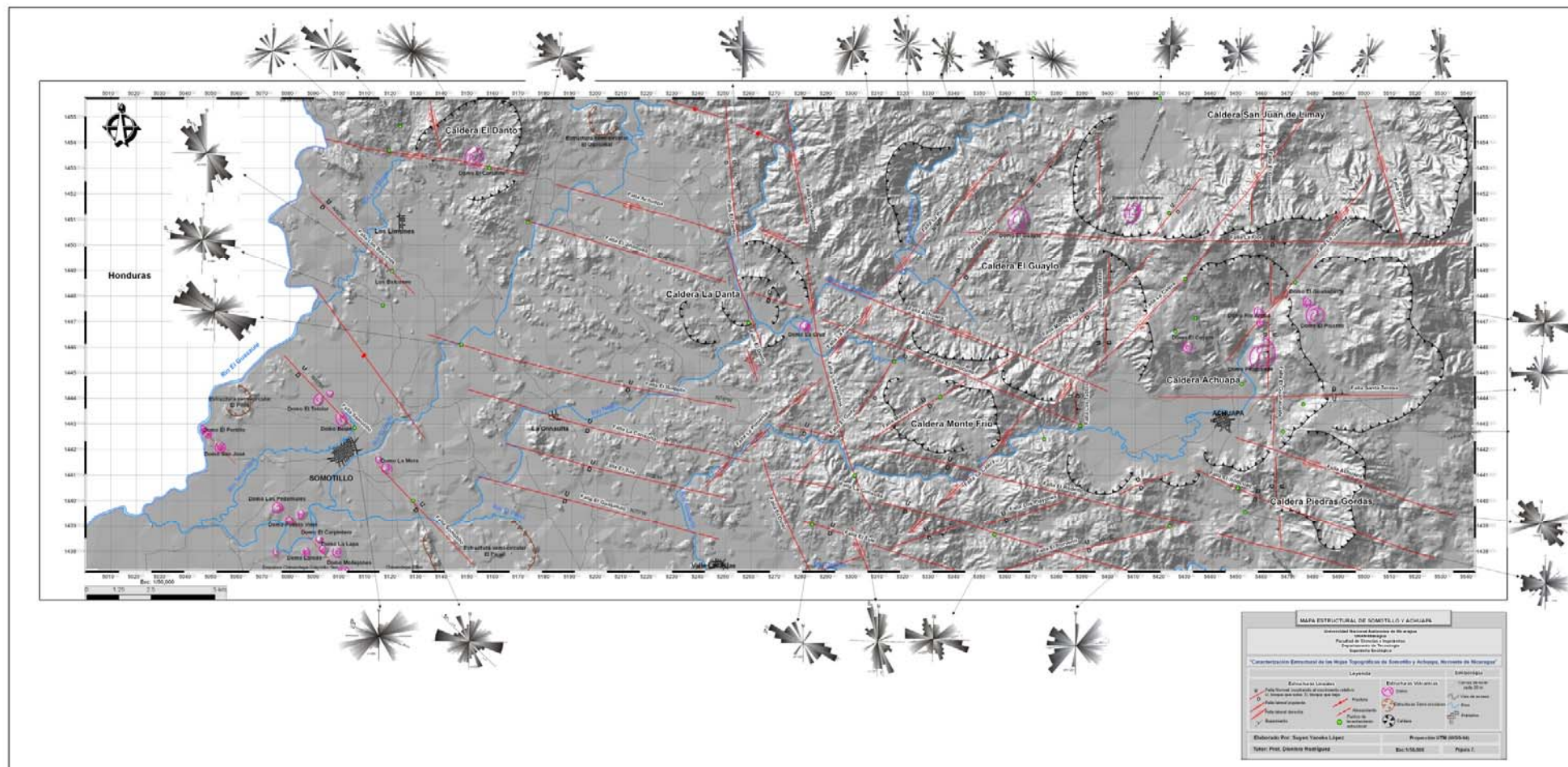
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las características estructurales del área de Somotillo y Achuapa, son consecuencia de la subducción oblicua de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe, a través de la Fosa Mesoamericana, durante el Terciario.

El proceso de subducción, generó grandes esfuerzos de extensión y compresión, que dieron lugar a extensas áreas de deformación tectónica en el área de estudio, formando fallas regionales y locales que exhiben características cinemáticas particulares (Figura 7)*.

La cinemática de estas fallas, se determinó utilizando criterios de cizalla e indicadores cinemáticos, las que ayudaron a definir el movimiento de los bloques de rocas en las zonas de falla (Anexo 4).

* Ver mapa estructural a escala 1:50,000 en Anexo 5.



6.1 Consideraciones Teóricas

Las rocas de la corteza terrestre se encuentran sometidas a esfuerzos tectónicos, que posteriormente generan deformación en la superficie, esta deformación puede ser dúctil o frágil, en dependencia de la composición química de la roca, temperatura y presión confinante de la misma (Tolson, 1996).

Para conocer el régimen de deformación a la que están expuestas las rocas, es necesario saber en que nivel de la corteza se ubican; por tanto se entiende que los niveles superiores de la corteza terrestre están conformados por rocas que son deformadas frágilmente, mientras que a mayor profundidad estas deformaciones tienen un comportamiento dúctil (Figura 8).

Existe un nivel de transición donde las rocas pasan de deformación frágil a dúctil y es conocida como transición dúctil-frágil, la cual generalmente se encuentra a unos 10 km-15 km de profundidad, bajo la superficie terrestre (Sibson, 1990).

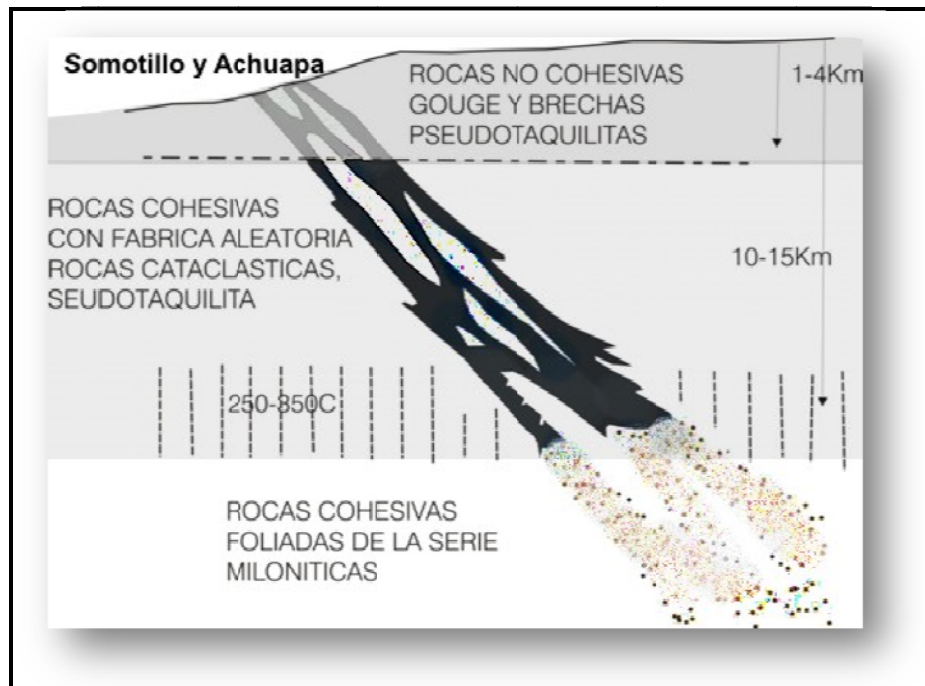


Figura 8. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas. Transición dúctil-frágil en líneas verticales. Simplificada de Sibson (1990).

El área de estudio está sometida a deformación frágil y frágil- dúctil, la cual incluye rocas de falla formadas por una cantidad variable de fragmentos de rocas, entre las que destacan brechas de falla y harina de falla o gouge.

6.1.1 Criterios de cizalla sobre planos de falla

Una cizalla corresponde a un esfuerzo de corte generado por el desplazamiento del plano de falla, cuando este esfuerzo se genera entre dos bloques de rocas que han sido deformadas por fallas se producen rocas de fallas* compuestas principalmente de fragmentos de rocas del bloque que las contiene (Foto 33).

Las rocas de falla encontradas en el área de estudio fueron clasificadas en dependencia de la cantidad de matriz generada durante el desplazamiento del plano de falla, entre ellas se encontró:

-Brechas de fallas: Corresponden a fragmentos de rocas sub-angulares originadas como producto de la interacción mecánica entre dos bloques, induciendo la fragmentación de la roca a lo largo de la zona de falla, ejemplo de ello se muestra en la Falla Somotillo (N1445727-E507586), Las Tablas (N1442450-E5384409), El Guaylo (N1445300-E531500), El Guasimito (N1440959-E515323) y El Rodeito (N1446496-E513436), en las que se determinó la presencia de 10%-50% de matriz, cementando a fragmentos de rocas de composición dacítica y andesítica.

- Harina de falla (gouge o arcilla de falla): Son rocas arcillosas pulverulentas, poco consolidadas y deleznales, estas se encontraron rellenando zonas de fallas a lo largo de las fallas El Jiñocuao (N1450989-E517213) y La Guaruma (N1446272-E544058), donde se determinó que el contenido de matriz o material fino es mayor al 90%.

* Rocas de falla: son rocas que han sufrido esencialmente una intensa deformación frágil o frágil-dúctil, acompañada de recristalización, como resultado del esfuerzo producido en el plano de falla entre dos bloques, puede generarse brechas de falla y harina de falla, principalmente (Davis, 1984).



Foto 33. Material originado por el cizallamiento como consecuencia de deformación frágil en la roca, en la foto izquierda Falla Somotillo (N1445727-E507586) muestra gouge, cuyo material es fino y pastoso; foto derecha Falla El Rodeito (N1446496-E513436) muestra brecha de falla con litoclastos sub-angulares en una matriz de grano fino.

Estas rocas de falla indican el movimiento y la intensidad del fracturamiento que ha sufrido la roca durante su deformación.

Las fallas del área de estudio, exhiben indicadores cinemáticos que muestran tanto el sentido del movimiento de la falla principal, como la dirección del esfuerzo máximo, los indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de fallas localizadas en el área de Somotillo y Achuapa, permitieron identificar el sentido de desplazamiento en zonas de cizalla, tomando como criterio los principios básicos de fracturamiento como son: tipos de cizalla, fallas lítricas, estructuras en dominó, fracturas conjugadas, fracturamiento secundario, sigmoides, clastos rotados, estrías, escalones y vetillas.

En el área de estudio se determinó la existencia de dos tipos de mecanismo de deformación tectónica por cizalla, generadas por el desplazamiento del plano de falla (Figura 9).

La cizalla pura, se caracteriza por dar origen a una Depresión Tectónica en el área central del municipio de Achuapa, generando estructuras deformadas coaxialmente*, sin rotación y en general simétrica.

* Deformación coaxial: Cuerpo que comparte un mismo eje de simetría o de rotación respecto a otro, ejemplo: fallas normales creando un graben (Tolson, 1996).

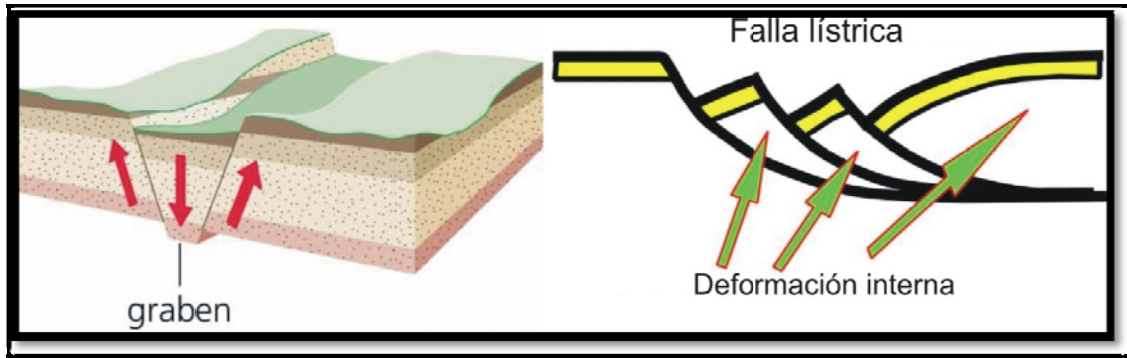


Figura 9. Esquema de estructuras generadas por cizallamiento, graben o depresión tectónica para cizalla pura y fallas lítricas para cizalla simple. Tolson (1996).

El cizallamiento simple se encontró a lo largo de fallas normales, principalmente de dirección NW-SE, correspondiendo a fallas lítricas, rotacionales, no coaxiales y asimétricas.

El movimiento rotacional de las fallas lítricas, dan como resultado estructuras en dominó, las cuales corresponden a fragmentos de roca en forma tabular que se deslizan cada uno respecto a una falla principal.

En el área de estudio, estas estructuras se originaron a partir de una falla lítrica normal, generalmente de dirección NE-SW, en las cuales se pudo observar que el ángulo del plano de falla cambia de dirección a medida que la falla avanza a la superficie, ocasionando movimientos rotacionales en los bloques de roca que afecta (Figura 10).

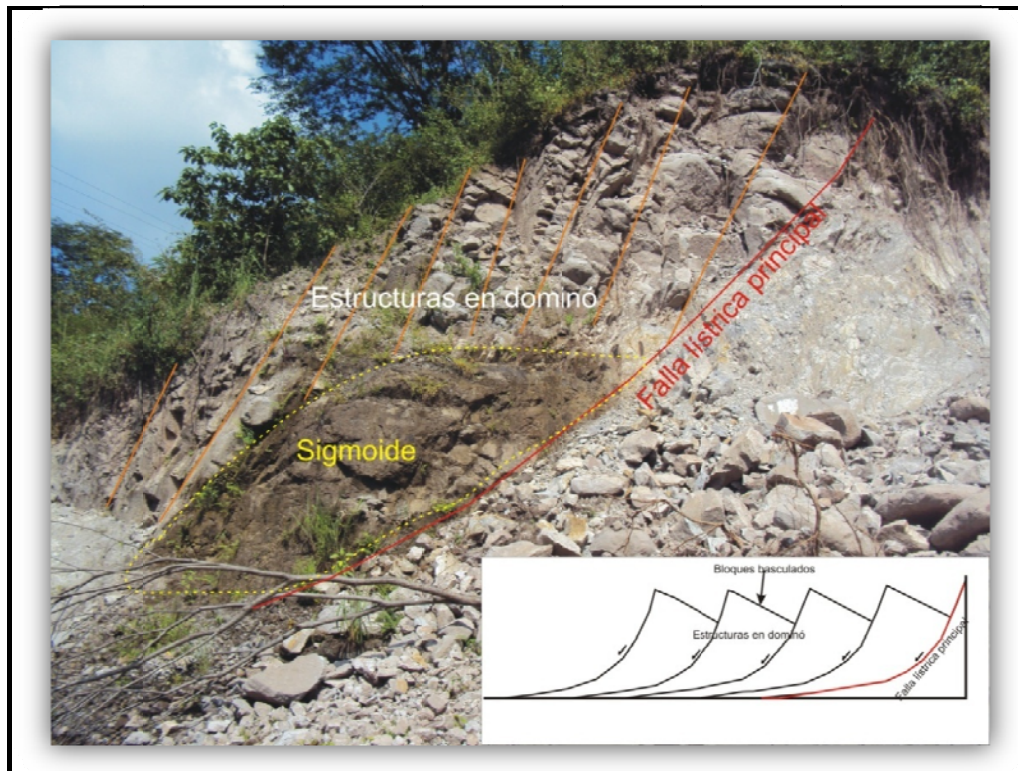


Figura 10. Estructuras en dominó, falla lítica sintética, representando una falla normal; Falla La Guaruma, Achuapa (N1446272-E544058).

Las fallas líticas están relacionadas a cizalla pura, las cuales poseen dos sentidos de rotación como son: antitéticas (son fallas cuyos bloques rotan en sentido contrario a la falla principal) característico de fallas inversas y sintéticas (planos de fractura y rotación de los bloques en el mismo sentido de la falla principal) formando las denominadas estructuras en dominó, como la encontrada en la falla La Guaruma (N1446272-E544058).

En el área, las zonas de cizalla pura producen fracturas conjugadas, con un ángulo agudo de aproximadamente 60° , apuntando en dirección del bloque que cae (Figura 11).

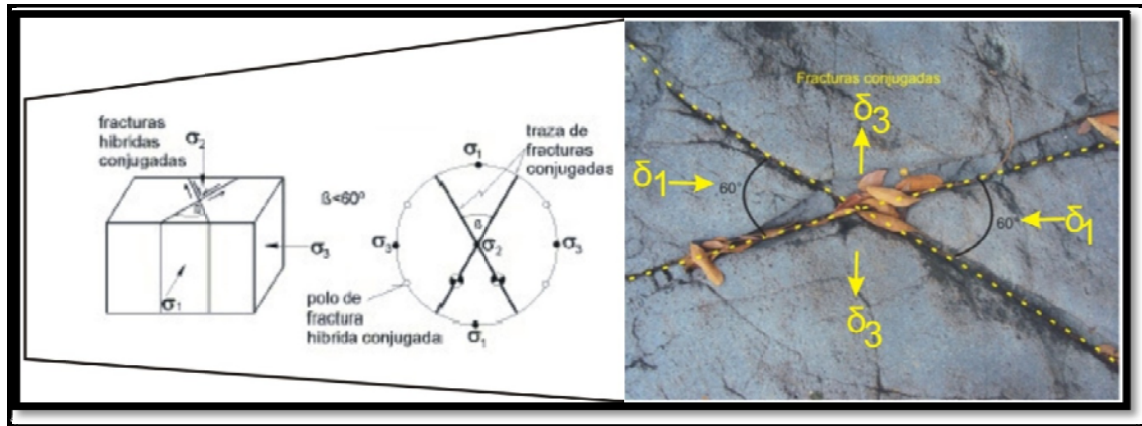


Figura 11. Fracturas extensivas y compresivas, en arreglo conjugado, indicando la dirección de esfuerzo máximo δ_1 . Nótese fracturamiento conjugado, cuyo ángulo agudo mide 60° ; Falla El Guanacaste, Achuapa (N1455551-E546001).

Las fracturas conjugadas están relacionadas a sistemas de fallas normales, las cuales indican el tipo de movimiento que dio lugar a estas fracturas y a la dirección del esfuerzo máximo que originó su deformación.

En el área de estudio, estas fracturas se encuentran presente en la mayor parte de las fallas de dirección NW-SE, NE-SE y N-S, las cuales indican el tipo de movimiento ocurrido durante la cizalla.

Este movimiento también puede ser determinado por el desarrollo de una serie de fracturas secundarias en las zonas de falla, las cuales demuestran el sentido de desplazamiento, de acuerdo con la orientación cinemática de estos (Figura 12).

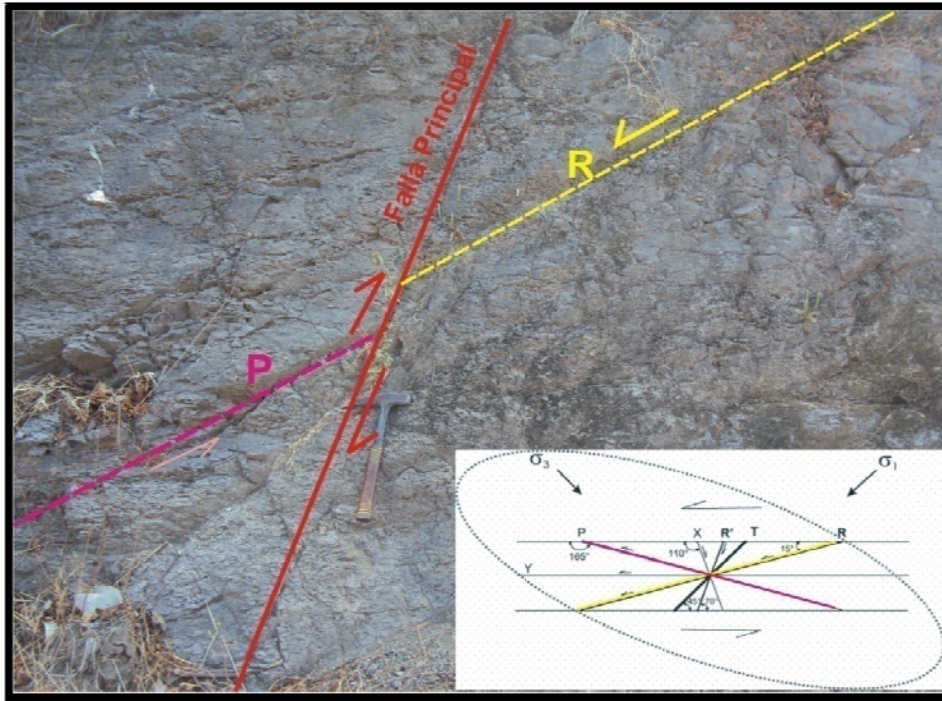


Figura 12. Nótese el sentido de desplazamiento de la falla principal, determinado a través de los criterios de falla r y p, Falla Los Balcones, Somotillo (N1452166-E508666).

El fracturamiento secundario se origina generalmente por cizallas denominadas R y P, en donde las fracturas transversales apuntan con el lado cóncavo hacia la dirección de desplazamiento del bloque que baja (R) o sube (P), este criterio fue empleado en las fallas del área de estudio, donde las rocas no mostraban un desplazamiento aparente.

Otro criterio útil para determinar el movimiento y desplazamiento de las fallas propuestas en este estudio, fue la presencia de estructuras sigmoides (Figura 13), originadas como consecuencia de la deformación frágil, durante las fases iniciales del movimiento sobre una zona de falla, formando lentes de cizallamiento a través de fracturas R y P, arregladas geométricamente en echelón.

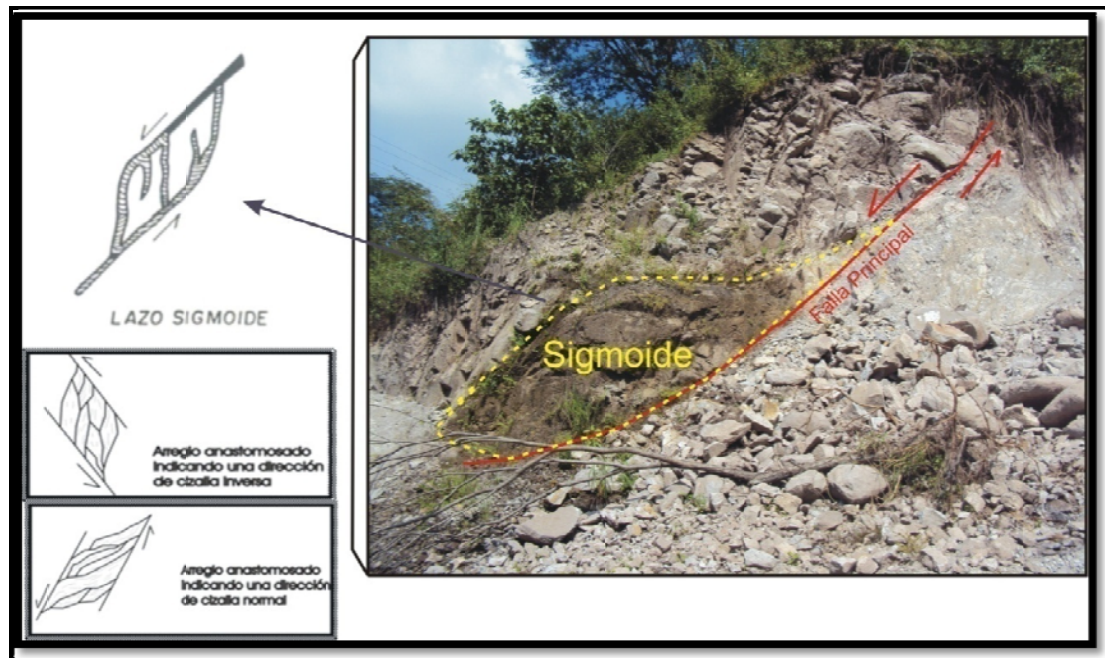


Figura 13. Lentes de deformación o sigmoides indicando el movimiento relativo de la falla principal, donde la elongación máxima se dispone en el sentido del esfuerzo máximo de extensión σ_3 , Falla La Guaruma, Achuapa (N1446272-E544058).

La ocurrencia de un conjunto de sigmoides ubicados en dirección del movimiento relativo de la falla principal, da lugar a sistemas anastomasados, cuya presencia se usó como indicador cinemático, ya que su elongación máxima se ubica en la zona de extensión σ_3 .

Las estructuras sigmoides y la geometría anastomasada, se observa a lo largo del área de estudio e involucra a fallas ubicadas en todas las direcciones.

El área de estudio, se ubica dentro de un ambiente volcánico de edad Terciario, las estructuras volcánicas emplazadas originaron extensos depósitos vulcanoclásticos en toda la superficie, los fragmentos de rocas en estos depósitos han sufrido rotación durante el movimiento de las fallas, de manera que el eje mayor del clasto rotado se encuentra alineado con respecto a la zona de cizalla, indicando el movimiento del bloque de falla que asciende o desciende (Figura 14).

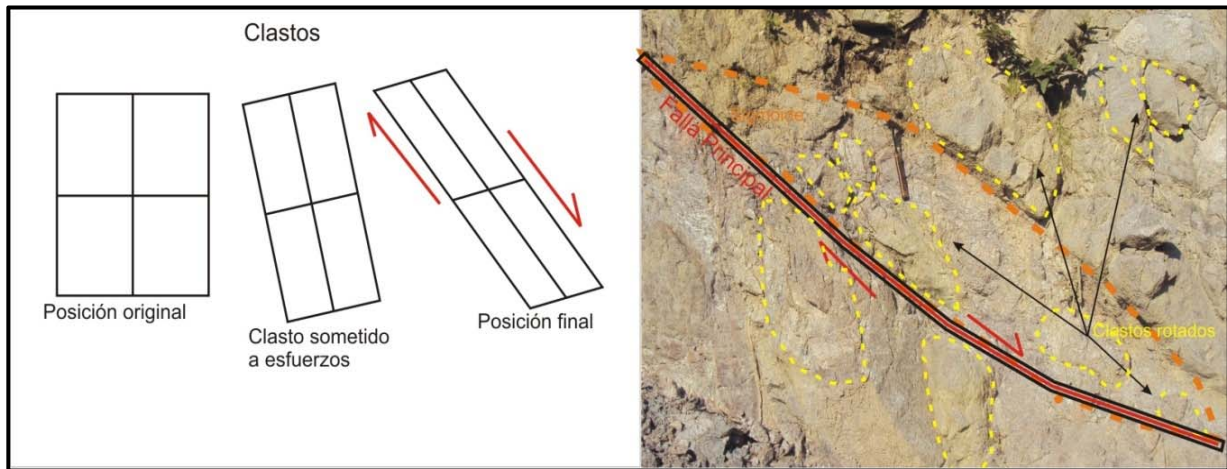


Figura 14. Rotación de clastos sometidos a esfuerzos, el eje mayor del clasto indica la dirección de movimiento de la falla principal (Tolson, 1996), Falla La Guaruma, Achuapa (N1446272-E544058).

Este indicador cinemático es común encontrarlo en fallas lítricas, generalmente en la unidad de dacitas (Da) y tobas dacíticas (Td), en las fallas ubicadas en Los Balcones, Somotillo (N1452166-E508666), y La Guaruma, Achuapa (N1446272-E544058).

En las fallas expuestas en Somotillo y Achuapa es común encontrar estrías, estas son líneas finas sobre los planos de falla, las cuales se formaron durante el desplazamiento relativo de dos bloques en movimiento, cuya presencia indica la posición del plano de falla (Figura 15).

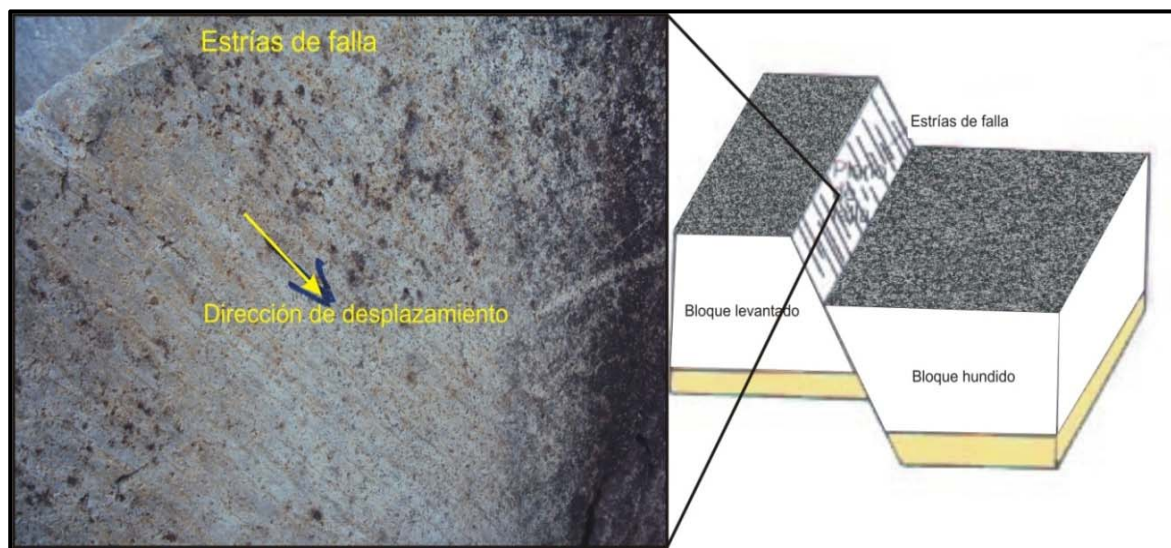


Figura 15. Esquema de desplazamiento de una falla normal (Sibson, 1990) y estriamiento a causa del movimiento relativo en las rocas del plano de falla, Falla El Jiñocuao, Somotillo (N1450989-E517213).

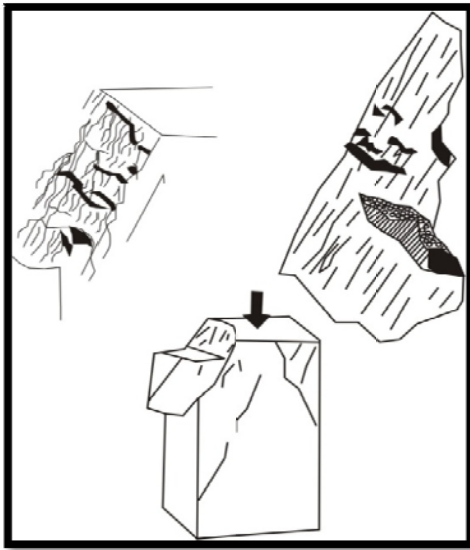


Figura 16. Imagen que muestra la formación de estrías y escalones (García-Palomo, 2002)

Las superficies pulidas con estrías generalmente contienen pequeños escalones perpendiculares a la dirección de movimiento sobre el plano de falla. En el área de estudio existen dos tipos de escalones (Figura 16): los escalones congruentes, son aquellos que presentan minerales fibrosos y los escalones incongruentes son aquellos que encaran el sentido contrario al movimiento, por lo tanto no presentan minerales fibrosos.

Estas estructuras se originan por una pausa en las zonas de resistencia del bloque antes de finalizar su desplazamiento, permitiendo definir la dirección de desplazamiento de la falla.

Las estructuras lineales de Somotillo y Achuapa, generalmente están dispuestas en echelón, cuyo salto entre uno y otro segmento de la falla representan una zona de relevo (Figura 17). Estas zonas de relevo pueden ser compresivas generando estructuras como clivaje de fractura, fallas inversas o plegamientos y las zonas de relevo tensionales generan cuencas pull apart. (Gamond, 1987).

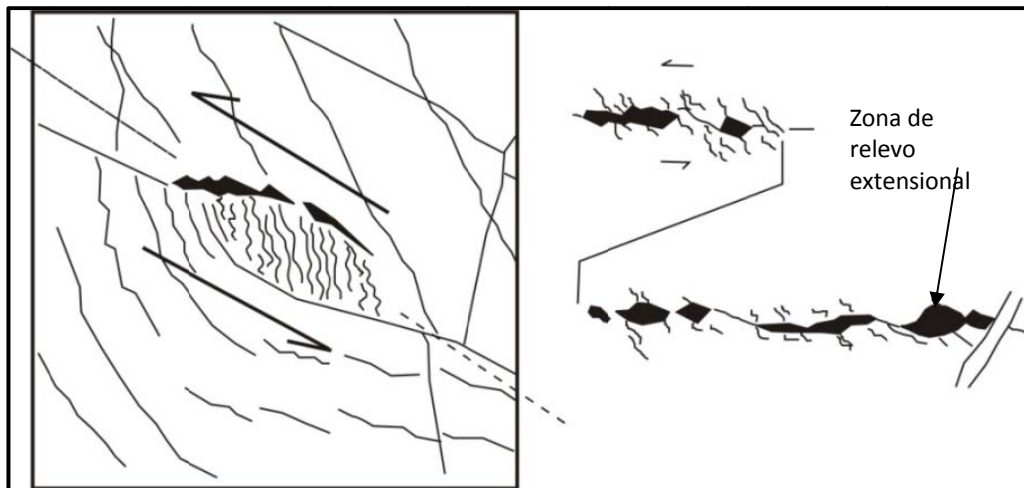


Figura 17. Diagrama de la zona de relevo (Gamond, 1987)

Las zonas de relevo tensional, se evidencian al encontrar cursos de ríos con drenaje rectangular, que han sido abandonados y desviados de su cauce original por esfuerzos extensionales, entre los cuales se encuentran los ríos: Achupita (N1442000-E529800), El Coyolar (N1446000-E545500) y Los Quesos (N1448400-E529000) en Achuapa, y los ríos Negro (N1449000-E525100) y El Gallo (N1446100-E514200) en Somotillo.

Generalmente los cauces de ríos abandonados se hacen presente en fallas de dirección NW-SE, específicamente en la traza de las Fallas: Achuapa, El Rodeito, El Danto, El Guaylo y La Guaruma.

La mayor parte de las rocas en el área fueron fuertemente fracturadas como consecuencia del continuo movimiento tectónico durante el Terciario, estas fracturas fueron rellenadas con soluciones hidrotermales ricas en sílice y/o carbonato de calcio, que se depositaron formando venas y vetillas.

Las vetas, vetillas y venas, son formadas por fluidos hidrotermales, algunas de las cuales contienen metales derivados de las rocas encajantes andesíticas, generalmente asociadas a la ocurrencia de calderas de colapso (Rodríguez, 1989).

En el área de estudio se determinó que una vez que hubo cristalizado el material emplazado en estas fracturas, fueron sometidas a nuevos esfuerzos tectónicos, con lo cual se plegaron y/o rotaron, adquiriendo una geometría sigmoidal, formando así nuevas generaciones de vetillas o venas a medida que la deformación progresó (Figura 18).

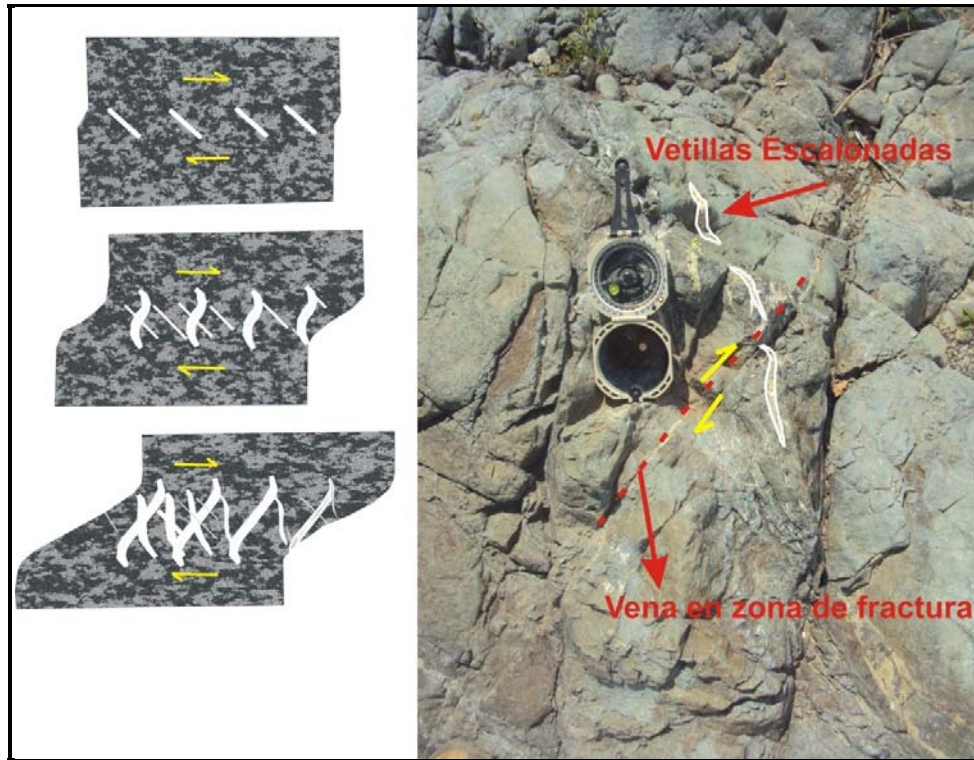


Figura 18. Esquema de vetillas escalonadas y su relación con los bordes de cizalla (Modificado de García-Palomo, 2002), conjunto de vetillas de cuarzo escalonadas, venas de cuarzo y carbonato en andesita cloritizada, indicando la dirección de movimiento de la fractura, Río La Naranja, Achuapa (N1455705-E537107).

La mayoría de estas estructuras se encontraron en zonas cercanas a fallas regionales y como indicador directo de las mismas, a lo largo de toda el área se encontraron geometrías diferentes entre las que destacaron vetillas escalonadas, identificadas por el desplazamiento y plegamiento de las mismas, por fallas subsecuentes.

Para determinar y comprobar la presencia de fallas en el área de estudio, se realizó una caracterización estructural, en base a los criterios anteriormente descritos.

6.2 Caracterización Estructural

El área de estudio ha sido afectada principalmente, por cuatro fases de fallamiento, determinadas según el movimiento y el desplazamiento relativo que muestran entre ellas y de acuerdo al grado de deformación que han sufrido.

En el área se reconocieron cuatro fases de fallamiento principales, como sigue:

- 1- **Primera fase:** Corresponde a fallas con orientación N-S, que conforman la Depresión tectónica de Achuapa y dieron lugar al emplazamiento de grandes estructuras volcánicas en esa misma dirección.
- 2- **Segunda fase:** Son fallas con orientación NE-SW, que desplazan a la Depresión tectónica anteriormente mencionada y las estructuras caldéricas que se ubican principalmente en el área de Achuapa, también dan lugar al emplazamiento de estructuras volcánicas de menor dimensión en comparación con las expuestas en la fase N-S.
- 3- **Tercera fase:** Comprende fallas de dirección E-W, las que se encuentran desplazando a fallas en dirección N-S y su característica principal es el desplazamiento que ocasiona en las fallas de dirección NE-SW y N-S, con un marcado cambio de ángulo entre cada segmento de las fallas.
- 4- **Cuarta fase:** Corresponde a fallas en dirección NW-SE, reflejándose en el desplazamiento y deformación a lo largo de todas las fases de fallamiento, en esta última fase, los ángulos de deformación varían en sentido anti-horario, exponiéndose desde fallas de alto y medio ángulo hasta fallas de bajo ángulo de inclinación (Figura 7).

Cada fase de fallamiento está representada por fallas regionales que se extienden por varios kilómetros a lo largo y ancho del área de estudio, cuya geometría en echelón propone un sentido de deformación correspondiente al esfuerzo máximo aplicado.

A continuación se exponen las principales características que demuestran cada una de las principales fases de fallamiento y las fallas que las representan en el área de estudio.

6.2.1 Fase de fallamiento N-S

Corresponde a la primera fase de actividad tectónica que afectó el área de estudio, se localiza principalmente en el área de Achuapa, formando dos fallas regionales segmentadas que dieron origen a una Depresión tectónica de aproximadamente 18 km de longitud y 7 km de ancho, abarcando la parte sur de la Caldera San Juan de Limay, desde la Comarca San Lorenzo (N1452500-E541000) hasta la Comarca el Regén (N1454000-E551000) al norte y desde la Comarca El Consuelo (N1438800-E542500) hasta la Comarca Wiskilí (N1438000-E546000), al sur.

A ambas fallas se les atribuye la formación de una Depresión tectónica, localizada en la parte central del área de Achuapa, con una dirección preferencial N-S.

Esta Depresión posee pendientes entre 20° y 45°, cuya topografía accidentada es producto del fuerte escarpe generado por el plano de falla y la presencia de estructuras volcánicas en su interior, tales como: Caldera Achuapa y Caldera San Juan de Limay.

Dicha Depresión está siendo afectada por todos los patrones de fallamiento, donde las fallas dirigidas hacia el NE y NW, la desplazan con un movimiento lateral derecho y las fallas E-W lo hacen con una componente lateral izquierda, generando zonas de relevo de hasta 1.5 km, segmentándolo en tres bloques tectónicos deformados y cizallados.

De acuerdo con Lilljequist & Hodgson (1983), esta fase se relaciona a estructuras transversales, en las que pudieron haber volcanes secundarios atestiguados por cráteres fósiles; evidencia de lo cual se expone en el área de Achuapa, con la presencia de remanentes de estructuras volcánicas antiguas como: Caldera Achuapa, Caldera El Guaylo y Caldera San Juan de Limay.

Respecto a mineralización, estudios anteriores no revelan la existencia de vetas o zonas metalogénicas relacionadas a esta fase.

Las fallas que representan esta fase se denominaron en este estudio como: Falla Las Tablas (N1454406-E59533) y Falla El Guanacaste (N1455551-E546001), las cuales son caracterizadas como sigue:

6.2.1.1 Falla Las Tablas

Es una de las principales fallas que caracteriza la fase N-S, se localiza al oeste del municipio de Achuapa, entre las coordenadas N1454406-E59533 y N1443213-E538658, cuya mejor expresión se expone en las cercanías de la comunidad Las Tablas, de donde deriva su nombre.

Posee una orientación N-S y buzamiento en dirección este franco, con una longitud aproximada dentro del área de estudio de 12.5 km, extendiéndose hasta el área sur de la hoja topográfica San Juan de Limay, en la ladera este del Cerro Tipiscayán (Schliz, 2009).

Esta falla se encuentra dividida en cuatro segmentos principales, con una geometría en echelón derecho, posee zonas de relevo de hasta 800 m y delimita el flanco oeste de la Depresión Tectónica de Achuapa (Figura 7).

Morfológicamente esta falla se caracteriza por la presencia de un escarpe en dirección N-S (Foto 34) y facetas triangulares en dirección este franco, corta las unidades geomorfológicas de: Coladas de lava (V9), Remanentes de Caldera (V14) y Llanuras Aluviales (F3).

Litológicamente se encuentra afectando a rocas dacíticas (Da) y tobas de composición dacítica (Td), provenientes de la Caldera Achuapa, de edad Terciario.

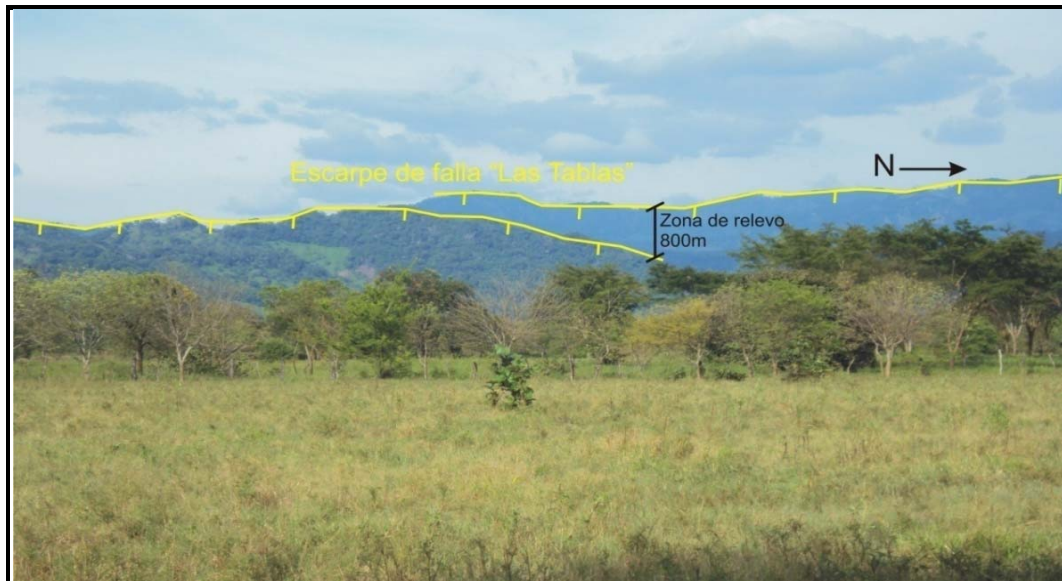


Foto 34. Vista panorámica hacia el norte del escarpe de falla “Las Tablas” (N1454406-E59533), deformando a rocas dacíticas y tobas dacíticas, de edad Terciario, Nótese zona de relevo entre cada segmento de la falla.

Para definir la cinemática de la falla Las Tablas y determinar su sentido de movimiento, fueron estudiados varios afloramientos, el más representativo se ubica en la ribera del Río Achuapita, en la comunidad Los Llanitos (N1442450-E5384409).

En este sitio existe una amplia zona de cizalla, donde la falla principal muestra una zona de brecha de 3 m de ancho.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados, corresponden a estructuras sigmoides en posición vertical, cuyos tamaños varían de 1.5 m a 3 m, formando geometría anastomosada (Foto 35), los cuales indican un estado avanzado de la deformación tectónica.

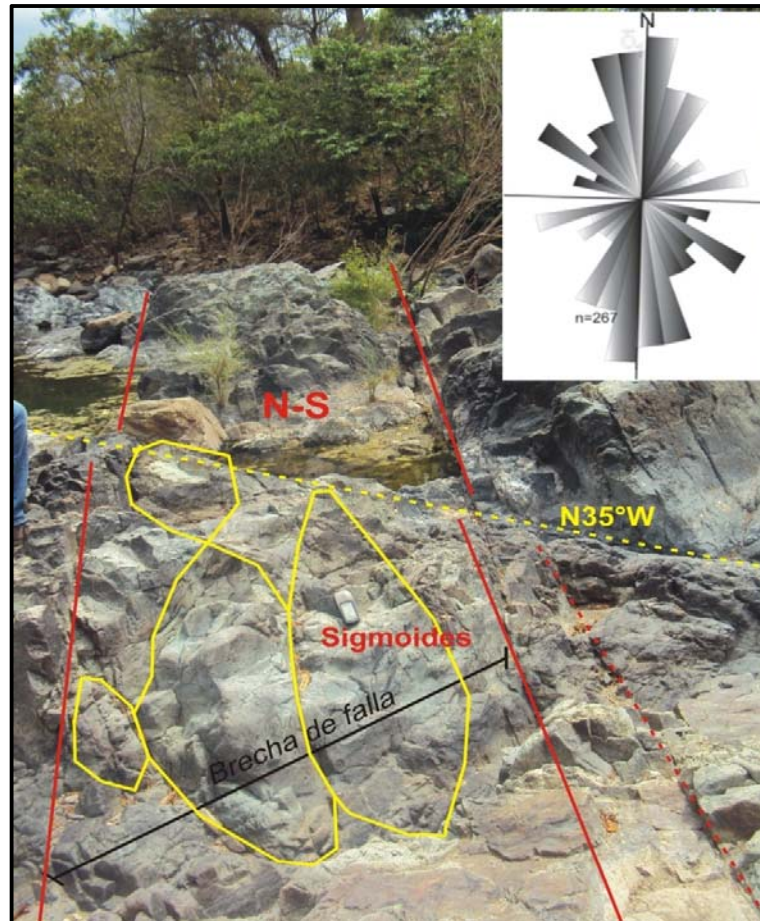


Foto 35. Segmento número 5 de falla Las Tablas (N1442450-E5384409), nótese sigmoides verticales formando arreglo anastomasado, brecha de falla y estructura R como indicador cinemático, véase roseta de fracturas con $\delta 1$ en dirección N-S.

Estos sigmoides están formados por estructuras R y P, con orientación S12°E y N35°W respectivamente, definiendo el sentido de movimiento de la falla, también se encontraron y midieron fracturas conjugadas con direcciones preferenciales N80°E y N43°W, indicando que la falla que la contiene posee un movimiento normal.

La roseta de fracturas indica un predominio de fracturas en dirección N-S, cuya componente de compresión $\delta 1$ se encuentra en sentido de la falla principal y la componente de extensión $\delta 3$ se muestra en dirección N70°E.

La presencia de estrías, dirección de elongación de estructuras sigmoides, estructuras R y fracturamiento conjugado son evidencias marcadas del tipo de movimiento normal; de acuerdo con las características analizadas anteriormente la Falla Las Tablas, es una falla normal con una componente lateral derecha.

6.2.1.2 Falla El Guanacaste

La falla El Guanacaste, corresponde al límite este de la Depresión de Achuapa, se encuentra localizado al este del municipio de Achuapa, en la comarca El Guanacaste, donde toma su nombre.

Posee aproximadamente 17km de longitud, con una orientación N-S, paralela a la Falla Las Tablas, entre las coordenadas N1455551-E546001 y N1438229-E546619 (Figura 7), se extiende hacia el norte hasta el poblado La Grecia en San Juan de Limay (N1457000-E546000), mostrando una ligera variación de ángulo hacia el NE (Schliz, 2009) y hacia el sur en la hoja topográfica El Sauce (N143600-548000).

Litológicamente se encuentra deformando a rocas dacíticas (Da), en el extremo norte, tobas dacíticas (Td) en el área central y rocas andesíticas (An) en el extremo sur.

Esta falla tiene buena expresión topográfica, lo que facilitó su identificación. A nivel regional se distingue por una trayectoria rectilínea a través de un escarpe muy pronunciado en dirección N-S, con flatirones* y copas de vino* (Foto 36).

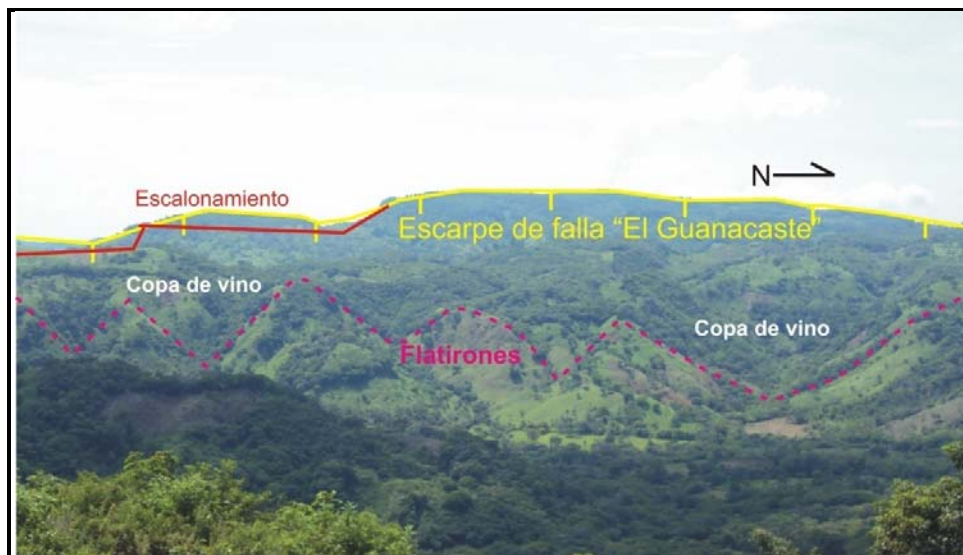


Foto 36. Flatirones o facetas triangulares y copas de vino en escarpe de la falla El Guanacaste (N145551-E546001), indicando expresión topográfica marcada, escalonamiento hacia el sur y presencia de un plano de falla en la parte frontal de los flatirones.

* Flatirones: Fase erosiva de planos de falla, dando aspecto de facetas triangulares con la base hacia abajo y el vértice hacia arriba (Madrigal & Rojas, 1980).

* Copas de Vino: Zona cóncava, como resultado de la erosión de un plano de falla en etapa de madurez a senectud (Madrigal & Rojas, 1980).

Geomorfológicamente se encuentra deformando a las unidades volcánicas de remanentes de caldera (V14) y coladas de lava (V9), y a la unidad estructural de domos (S10).

En el área este de Achuapa, la zona de falla muestra una serie de escalonamientos, con saltos de aproximadamente 500 m, hacia el sur; estos escalones están formados por fallas secundarias discontinuas con arreglo en echelón derecho, cuyos saltos corresponden a extensas zonas de relevo.

Las zonas de relevo tienen un promedio de 500 m, excepto en el área de la Caldera San Juan de Limay, donde la geometría de la traza de falla varía exhibiendo un relevo de aproximadamente 2 km.

Los indicadores cinemáticos encontrados, corresponden a estructuras sigmoidales en posición vertical, alineación de clastos en dirección de la falla principal, fracturas conjugadas y fracturamiento secundario R y P, que permitieron definir la cinemática, indicando un sentido de movimiento normal, además se exponen fracturas con arreglo bifurcado y fracturamiento paralelo desplazado (Foto 37).

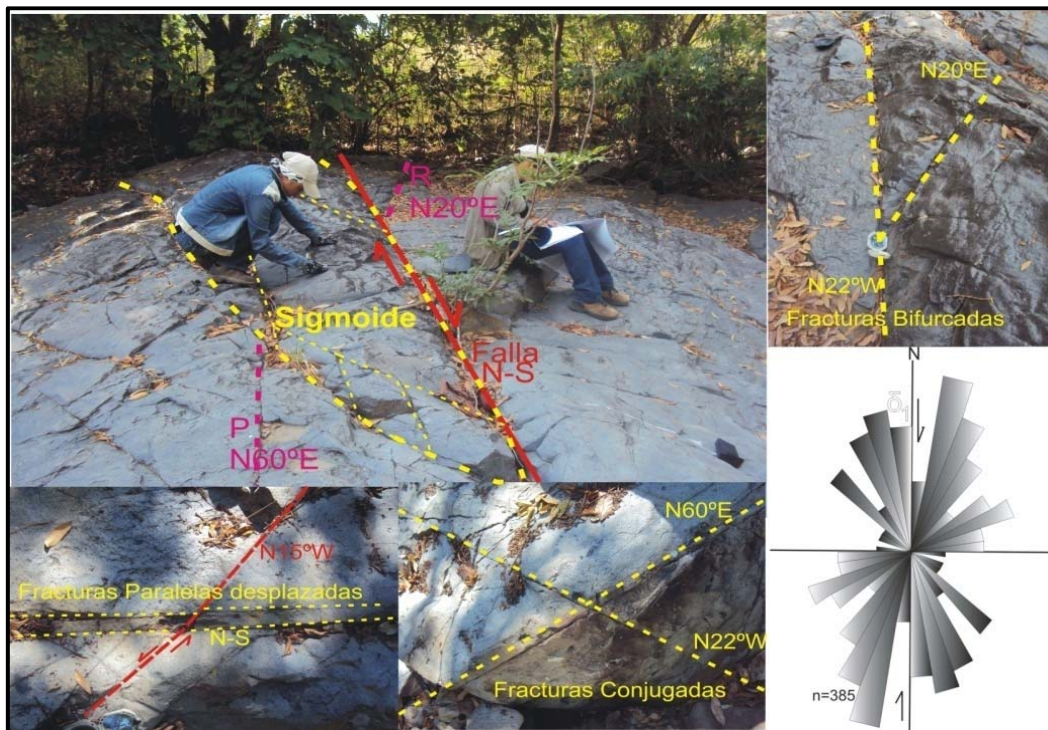


Foto 37. Principales indicadores cinemáticos y expresión en planta de la falla “El Guanacaste” en el poblado Sabana de la villa, este de Achuapa (N1443043-E545913).

En el poblado Sabana de la Villa (N1443043-E545913), se ubica un afloramiento donde se observó una zona de falla con dirección preferencial N-S, en cuyos planos se encontraron fracturas R y P, indicando el sentido de movimiento de la falla principal, además de estrías cuya dirección preferencial de esfuerzos se dio N03°W ($\delta 1$) y N70°E ($\delta 3$).

Sobre el segmento sur de la falla, se identificaron sigmoides en posición vertical formando geometría anastomasada, con una elongación máxima de 15 m y un ancho de 5 m, estas estructuras son formadas por fracturas R de dirección N20°E y fracturas P en dirección N60°E, afectando a rocas andesíticas de edad Terciario.

La roseta de fracturas expone una dirección de esfuerzo principal máximo N-S, cuya dirección de acortamiento $\delta 3$ se da hacia el N87°E.

Los indicadores cinemáticos, en conjunto con la orientación de esfuerzos de deformación tectónica indicados en la roseta de fracturas, exponen una falla de movimiento normal.

6.2.2 Fase de fallamiento NE-SW

Pertenece a la segunda fase de generación de fallas, se ubica principalmente en la parte este del área de estudio, formando fallas escalonadas que desplazan la Depresión tectónica de Achuapa en sentido lateral derecho y deforman las estructuras volcánicas de dirección N-S, emplazadas a lo largo de esta Depresión.

Según Lilljequist & Hodgson (1983), durante el Terciario y el Cretácico Superior, ocurrió una subducción, indicando desplazamientos de la actividad magmática y volcánica de este a oeste, de acuerdo con su postulado, se sugiere que además de la migración volcánica, también se crearon sistemas de fallas en dirección NE-SW, perpendiculares a la zona de subducción, las cuales debieron dar lugar al emplazamiento de nuevas estructuras volcánicas en ese tiempo.

La mineralización se hace evidente en esta fase, ya que la mayor cantidad de vetas encontradas en estudios anteriores revelan que los depósitos de oro, plata y cobre, están íntimamente relacionados a fallas regionales y locales de dirección NE-SW (Hodgson, 1971).

Las fallas más representativas de esta fase se denominan: Falla La Pimienta, Falla El Guaylo, Falla Monte Frío, Falla La Calera, Falla Los Playones y Falla El Porvenir.

6.2.2.1 Falla La Pimienta

Esta falla corresponde a una estructura lineal, con una extensión superficial de 17.5 km y una orientación de N50°E, localizada en la porción central del área

de estudio. Aunque no fue identificada en campo, el análisis fotogeológico, conjuntamente con los mapas altimétricos, de pendientes y de relieve sombreado, definen la existencia de la falla, debido a la presencia de un escarpe bien desarrollado (Figura 7 y Anexo 1).

Se propone como evidencias de esta falla, la presencia de vetas de cuarzo de rumbo NE-SW, de aproximadamente 2.6 m de ancho, encontradas en el Río La Naranja (N1454500-E537500), la cual coincide con una de las vetas mineralizadas encontradas por Espinoza, T & Darce, M. (1995), quienes la asocian a una falla de la misma dirección.

Se considera una falla lateral derecha, cuya geometría consiste en un arreglo en echelón derecho, con zonas de relevo que varían de 500 m a 1000 m.

6.2.2.2 Falla El Guaylo

La falla El Guaylo, se localiza en la comunidad El Guaylo, de donde se deriva su nombre, tiene una orientación preferencial de N45°E, buzando 30°SE y se extiende dentro del área de estudio con una longitud de 18 km.

A nivel regional esta falla, se expone en forma de trazos rectilíneos escalonados, con un marcado escarpe de aproximadamente 45° en dirección SE, en el modelo de sombras (Anexo 1.3), se puede observar la traza de falla que corta y deforma al Cerro Tronco Prieto (N1452100-E535500), Fila La Derrumbosa (N1449400-E535000) y Loma Mina Taborona (N1444100-E530990), ubicadas al oeste del municipio de Achuapa.

Geomorfológicamente, corta y deforma las unidades volcánicas de: Remanentes de caldera (V14), Colinas Volcánicas (V16) y Coladas de lava (V9).

Litológicamente, atraviesa rocas de composición dacítica (Da) en la parte superior y andesita (An) en la parte inferior.

Los elementos estructurales que la conforman presentan una geometría en echelón derecho, excepto por el segmento norte, que fue desplazado en sentido opuesto por una falla de dirección E-W.

Las zonas de relevo correspondientes a esta falla, varían entre 0.5 km a 1.5 km, las cuales se encuentran cortando a la Caldera El Guaylo y a rocas de la Caldera Monte Frío.

Para conocer la cinemática que rige esta falla, se midieron varios afloramientos, el más representativo de ellos se localiza en las coordenadas N1445300-E0531500, en la ribera del río Monte Frío.

En este sitio, se encontró una amplia zona de deformación, la que fue liberada en forma de estructuras de sigmoides verticales que forman sistemas anastomados, brecha de falla, vetillas escalonadas y venas en posición sub-vertical (Foto 38), los que indican un sentido de movimiento normal.

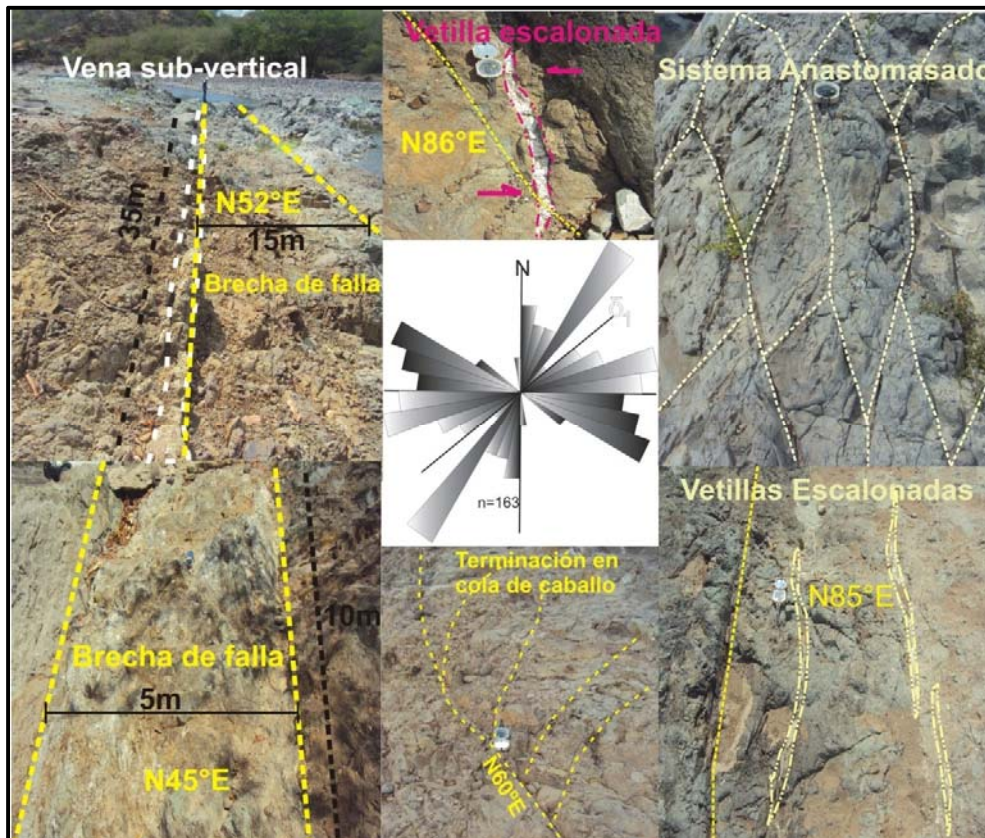


Foto 38. Indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la falla El Guaylo (N1453600-E537500), nótese dirección de esfuerzo principal máximo (σ_1) N45°E, mostrado en la roseta de fracturas.

En la zona de falla, el bloque de piso presenta un ligero basculamiento, ocasionando fracturas secundarias que dan origen a la terminación en cola de caballo (Foto 38), indicando inflexiones y ramificaciones en la traza de falla debido a una terminación del esfuerzo extensional.

En el área se muestran brechas de falla cuyo ancho varía de 5 m hasta 15 m, estructuras sigmoides en arreglo anastomosado, así como sigmoides verticales dentro de la brecha de falla.

La mineralización de oro y plata, se hace notar a través de la presencia de vetas de cuarzo, de aproximadamente 2 m de ancho, encontradas por Espinoza, T & Darce, M. (1995), en rocas de composición dacítica a lo largo de la zona de falla de esta estructura, en los sitios Los Colorados (N1453600-E537500) y Loma Monte Redondo (N1452100-E536900).

La roseta de fracturas expone la dirección preferencial del esfuerzo principal máximo σ_1 hacia el N55°E y la dirección de acortamiento o esfuerzo principal de extensión dirigido hacia el N45°W, mostrando que la geometría local de la falla es conjugada.

Por tanto, se determinó que la Falla El Guaylo, es una falla normal de ángulo medio.

6.2.2.3 Falla Monte Frío

Se trata de una estructura lineal segmentada, con una extensión superficial de 16 km y una orientación de N55°E, localizada en la porción central-este del área de estudio, muy cercana al poblado Monte Frío (N1444064-E532996) y que es sub-paralela a la Falla La Calera.

Se extiende a través de la Loma El Aguacate (N1453000-E540000), hasta cortar las lomas La Coyotera (N1461100-E547500) y Las Nubes (N1461900-E548500) en la hoja topográfica San Juan de Limay (Schliz, 2009).

Morfo-estructuralmente se exhibe como escarpes con escalonamiento lateral derecho, con pendientes oscilan entre 15° y 25° en dirección NE, cuyo escarpe posee estructuras de flatirones en la zona frontal, mostrando un espejo de falla en etapa de madurez a senectud (Foto 39).



Foto 39. Escarpe de falla Monte Frío (N1444064-E532996), en dirección NE-SW, mostrando morfología de copa de vino y flatirones, característico de zonas de falla.

La falla Monte Frío, está compuesta por cuatro segmentos principales, cuyas zonas de relevo varían entre 0.5 km a 1.5 km.

Además, se encuentra cortando y desplazando la caldera Monte Frío, el extremo oeste de la caldera resurgente de Achuapa y la caldera San Juan de Limay y es deformada por fallas NW-SE de ángulo medio (Figura 7).

Estructuralmente, esta falla, presenta una geometría en echelón derecho, excepto por el segmento norte, que fue desplazado en sentido lateral izquierdo por la falla La Flor de dirección E-W.

La cinemática de esta falla, expone una amplia zona de deformación tectónica, la cual es demostrada por los indicadores cinemáticos como: fracturamiento conjugado, vetillas escalonadas, estrías y fracturamiento secundario R y P (Foto 40).

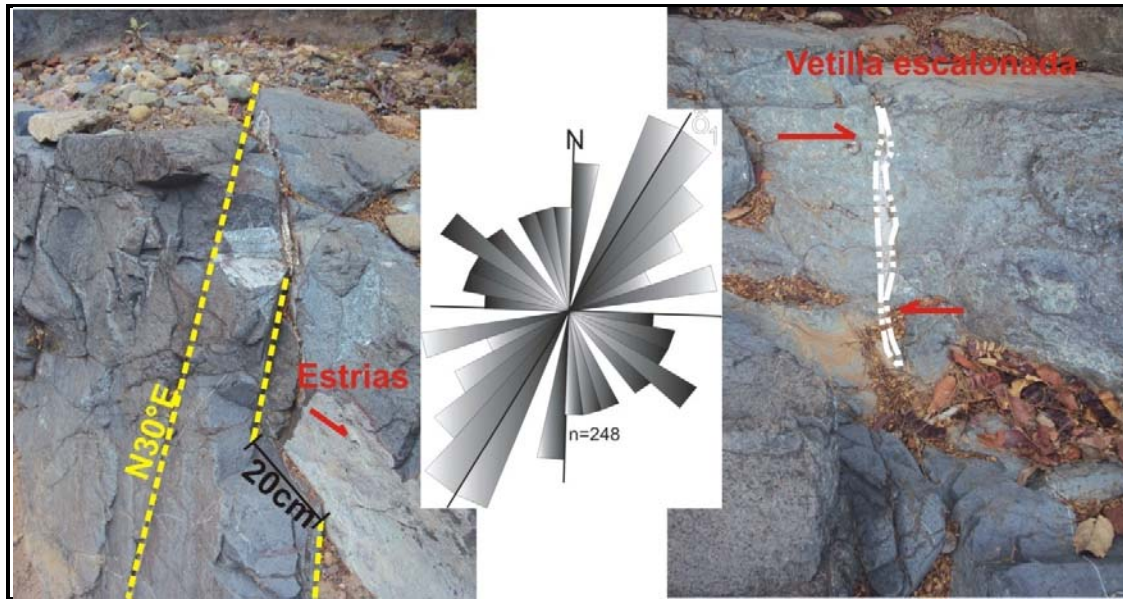


Foto 40. Indicadores cinemáticos, a la derecha vetilla escalonada indicando esfuerzo de compresión correspondiente al δ_1 , a la izquierda escalones congruentes, estrías sub-horizontales y zona de relevo de 20cm indicando desplazamiento normal de la falla monte frío (N1444064-E532996), roseta de fracturas indicando dirección de esfuerzo principal máximo δ_1 , en dirección preferencial N30°E.

En el afloramiento Cerro Morroñoso (N1451091-E541483), localizado en el extremo norte de la traza de falla, se identificaron indicadores cinemáticos tales como: sigmoides verticales, sistemas anastomasados (Foto 41) y fracturas secundarias R y P, principalmente.

El análisis de las rosetas de fracturas, indican que el esfuerzo principal máximo δ_1 se dio en dirección N40°E y δ_3 o esfuerzo principal mínimo, hacia el N20°W, lo que demuestra que tanto el esfuerzo compresivo como el esfuerzo extensivo son contemporáneos, indicando que pertenecen a fallas con geometría conjugada.

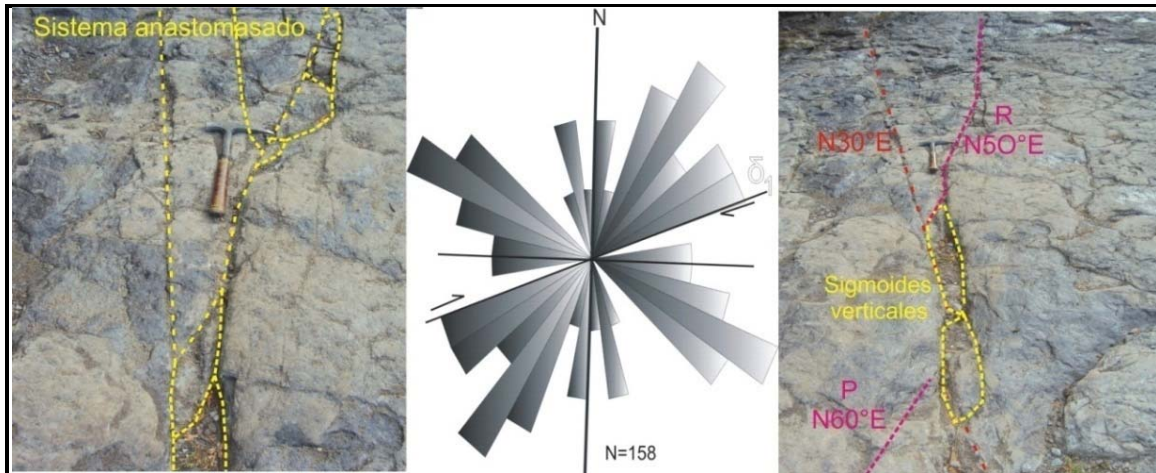


Foto 41. Indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la falla Monte Frío, Cerro Morroñoso (N1451091-E541483), nótese esfuerzo principal máximo (δ_1) en dirección N70°E, mostrado en la roseta de fracturas, el sistema anastomosado en la imagen izquierda refleja la dirección del esfuerzo de compresión δ_1 en posición vertical y los sigmoides verticales ubicados en la imagen derecha muestran la dirección preferencial de la falla principal.

Esta falla encuentra afectando a rocas dacíticas (Da) en el extremo norte y a rocas andesíticas (An) en el extremo sur.

Las rosetas de fracturas, exponen la dirección preferencial del esfuerzo principal máximo δ_1 hacia el N40°E y la dirección de acortamiento o esfuerzo principal de extensión, dirigido hacia el N20°W, por lo que se deduce que esta falla posee un movimiento normal con una componente lateral derecha.

6.2.2.4 Falla La Calera

Es una de las principales fallas que representa a la fase NE-SW, corresponde a una falla rectilínea escalonada, cuya extensión en el área de estudio es de 23 km y rumbo de N40°E, localizada al NW del municipio de Achuapa, en el poblado La Calera (N1446000-E539000).

Se extiende hacia el norte, al municipio de San Juan de Limay, cortando y deformando rocas de composición dacítica (Schliz, 2009) y hacia el sur, atraviesa la hoja topográfica de El Sauce, cambiando ligeramente de ángulo, de N40°E a N35°E.

En el área de estudio, corta rocas de composición dacítica (Da), ignimbritas dacíticas (Id), tobas dacíticas (Td), andesitas (An) y un cuerpo plutónico de composición granodiorítica (Gd).

Morfológicamente, esta falla tiene un escarpe bien definido (Foto 42), con una dirección N40°E, cuyas pendientes alcanzan hasta los 30°.



Foto 42. Escarpe de falla La Calera (N1446000-E539000) de rumbo preferencial N30°E, mostrando morfología escalonada.

Esta falla posee un movimiento lateral derecho, con una geometría en echelón derecho, dividida en seis segmentos principales, cuyas zonas de relevo oscilan entre 0.3 km a 1 km, a excepción del segmento norte, que ha sido desplazado con un movimiento lateral izquierdo por la falla La Flor de dirección E-W.

La traza de falla, se encuentra cortando el margen oeste de la Depresión tectónica de Achuapa y a su vez es cortada por la falla de Achuapa, de dirección NW-SE, el segmento norte de la falla La Calera, deforma y desplaza en sentido lateral derecho a las calderas de Achuapa y San Juan de Limay (Figura 7).

La mineralización en esta zona de falla, se da a través de vetillas de cuarzo y calcita, siendo estas ricas en pirita y sulfuros; las que se localizan en Loma Las Minitas (N1442000-E533700) y Mina La Todona (N1441900-E5355000), determinadas por (MEDE-MINAS, 1996).

Entre los indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de esta falla, se destacan: fracturas conjugadas, con dirección del esfuerzo principal máximo σ_1 hacia el N30°E, vetillas escalonadas en dirección preferencial N35°E, harina de falla de hasta 30 cm de espesor, sigmoides verticales y fracturamiento secundario R y P (Foto 43).

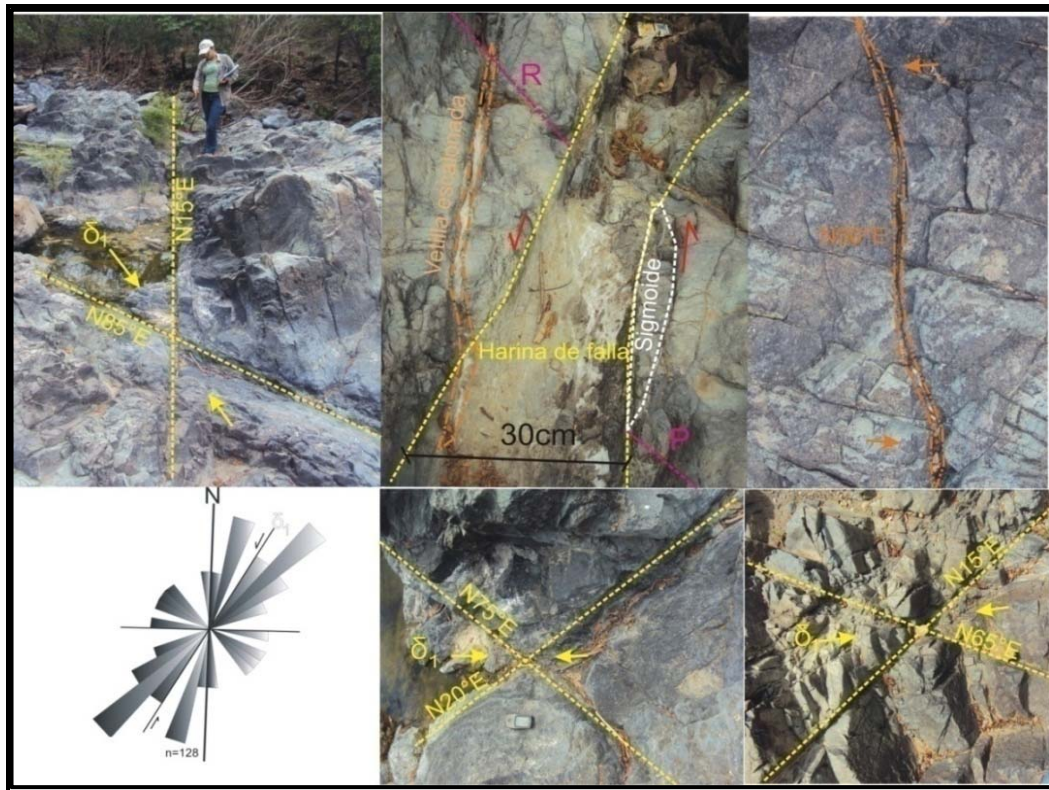


Foto 43. Indicadores cinemáticos que muestran el sentido de movimiento de la falla, las fracturas conjugadas indican la dirección del esfuerzo de compresión δ_1 que fue aplicado a la roca durante la deformación, nótese sigmoide vertical indicando desplazamiento normal de la falla principal, roseta de fracturas indicando dirección de esfuerzo principal máximo δ_1 , en dirección preferencial N30°E. La Calera, Achuapa (N1446000-E539000).

De acuerdo al análisis de las rosetas de fracturas e indicadores cinemáticos de la falla La Calera, se deduce que esta estructura es una falla lateral derecha.

6.2.2.5 Falla La Guaruma

Es una falla segmentada, con una longitud de 9.5 km, de rumbo N65°E; se extiende desde Loma La Guaruma (N1446000-E545100) hasta la comunidad La Flor (N1452000-E548500), al noreste del municipio de Achuapa.

Regionalmente se expone en forma de trazos rectilíneos escalonados (Foto 44), con un pronunciado escarpe de aproximadamente 40° en dirección NW, en el modelo de sombras (Anexo 1.3), se puede observar la traza de falla que sigue la corriente del río El Coyolar, cortando y deformando la Caldera de Achuapa y San Juan de Limay.

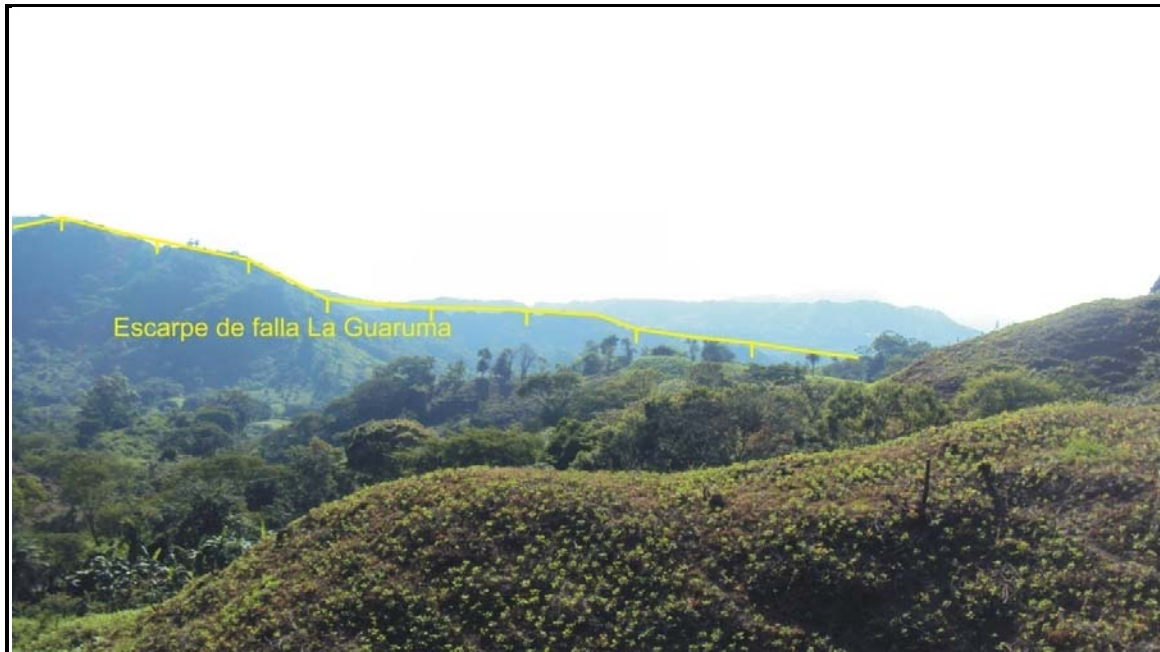


Foto 44. Expresión morfológica del escarpe de la Falla La Guaruma (N1446000-E545100), detrás de la cual se ubica el borde este de la caldera resurgente de Achuapa.

Esta falla, se encuentra desplazada por la falla La Flor de orientación E-W, proporcionándole un arreglo en echelón izquierdo, con una zona de relevo de aproximadamente 37 m.

La falla La Guaruma, es exhibida en un corte utilizado para extracción de material de relleno, localizado en el Cerro La Guaruma (donde toma su nombre) en las coordenadas N1446272-E544058.

En este afloramiento se observaron estructuras en dominó sintéticas, las cuales obedecen al movimiento de la falla lístrica principal, cuya dirección preferencial es N10°E; también se encontraron clastos rotados y estructuras R que indican el movimiento lateral izquierdo de la falla principal, el rasgo más característico es la presencia de un sigmoide acostado de 15 m de longitud y 2.28 m de ancho (Foto 45).

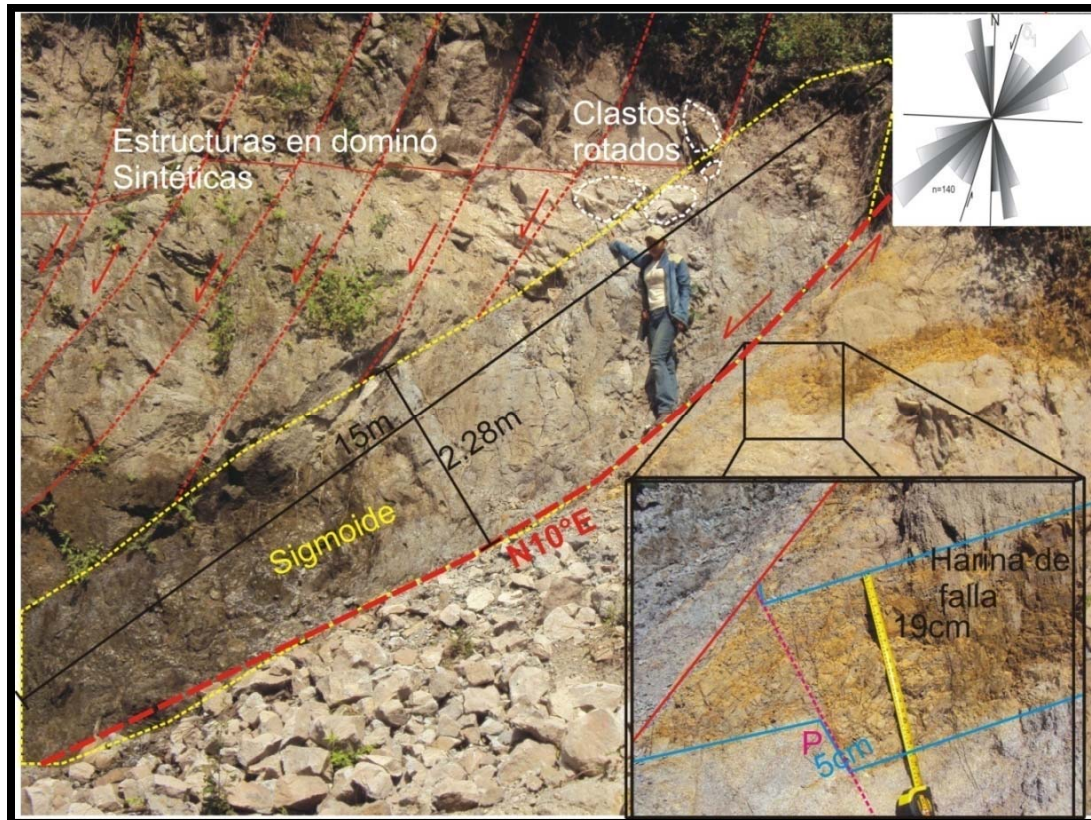


Foto 45. Indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la Falla La Guaruma (N1446000-E545100), nótese sigmoide acostado indicando movimiento de la falla principal en sentido lateral izquierdo, estructuras en dominó sintéticas y desplazamiento litológico que muestran la presencia de una intensa zona de cizallamiento.

En la zona de falla, se observó un ligero desplazamiento de 5 cm, en una estructura P de rumbo N15°W, que indica el bloque que sube, este se encuentra desplazando a una falla de dirección N80°E, dando lugar a una estructura compleja.

La Falla La Guaruma, se encuentra afectando a rocas dacíticas procedentes de la caldera San Juan de Limay y tobas dacíticas provenientes de la caldera Achuapa.

La interpretación de las rosetas de fracturas, expone la dirección preferencial del esfuerzo principal máximo σ_1 hacia el N20°E y la dirección de acortamiento dirigido hacia el N50°W, mostrando que la geometría de los esfuerzos aplicados a la falla son conjugados.

Por tanto se deduce que la Falla La Guaruma, corresponde a una estructura lineal con un movimiento lateral izquierdo.

6.2.2.6 Falla Los Playones

Se trata de una falla escalonada, con orientación preferencial N80°E, cuya extensión en el área de estudio es de 14.5 km; abarca desde Aguas Calientes (N1437600-E529000) hasta la comunidad El Cacao (N1440500-E540000), localizados al sur del municipio de Achuapa.

Se extiende hacia el sur, a la hoja topográfica de El Sauce, cortando un cuerpo plutónico de composición granodiorítica (Gd).

Geomorfológicamente, corta las unidades volcánicas de remanentes de caldera (V14), colinas volcánicas (V16) y a la unidad de origen intrusivo (I).

Esta falla tiene una buena expresión topográfica y se reconoce a nivel regional por presentar un escarpe pronunciado, con un ángulo de 45° en dirección SE, se hace evidente en el mapa de relieve sombreado y es de fácil identificación en las fotografías aéreas analizadas, exponiéndose en cuatro trazos rectilíneos con arreglo en echelón derecho, donde sus zonas de relevo fluctúan entre 1 km y 1.5 km, los cuales son desplazados por tres fallas paralelas entre sí, de rumbo N80°W, denominadas en este estudio como Falla El Rodeíto, Falla La Consulta y Falla El Tule.

La Falla Los Playones, afecta a tobas dacíticas (Td) en el segmento superior, andesitas (An) en el extremo medio y a rocas intrusivas granodioríticas (Gd) en los extremos inferiores, a su vez se encuentra deformando y desplazando el borde sur de la Caldera Achuapa.

Los indicadores cinemáticos encontrados en el sitio son principalmente: sigmoides en posición vertical, sistemas anastomados, fracturas conjugadas y vetillas de carbonato de calcio con geometría conjugada (Foto 46), observadas en varios afloramientos ubicados en los poblados Los Milagros (N1439965-E544722) y Los Playones (N1438819-E534905).

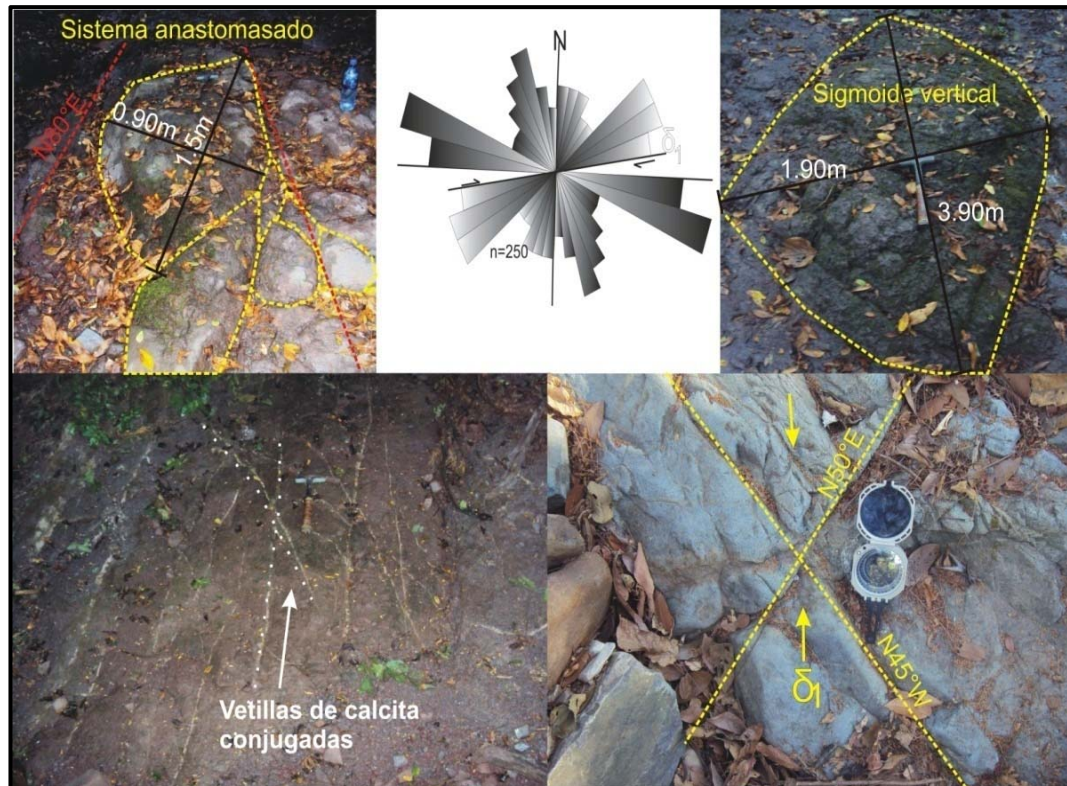


Foto 46. Nótese indicadores de la cinemática de la Falla Los Playones (N1438819-E0534905), la foto inferior derecha muestra una roca granodiorítica afectada por fracturamiento conjugado, cuya dirección del esfuerzo máximo se encuentra en posición sub-vertical, la roseta de fracturas indica la dirección del esfuerzo máximo de compresión σ_1 al N80°E.

La cinemática de este sitio, obedece a fallas con movimiento normal, evidenciada por el particular fracturamiento conjugado, sigmoides verticales que miden hasta 3.90 m de longitud, con 1.90 m de ancho y las peculiares vetillas conjugadas, compuestas por calcita, estas alcanzan a medir hasta 2 m de longitud, sin embargo su espesor no sobrepasa los 3 cm.

La mineralización a lo largo de esta falla, se hace notar en la presencia de vetillas de carbonato de calcio, rellenando rocas andesíticas intensamente alteradas por soluciones hidrotermales.

El análisis de las rosetas, realizadas con las fracturas medidas en campo, muestra la dirección del esfuerzo principal máximo hacia el N80°E y la dirección de acortamiento hacia el N40°W, indicando una geometría local conjugada.

Todo lo anterior demuestra que la Falla Los Playones, corresponde a una falla normal, con una componente lateral derecha.

6.2.2.7 Falla El Porvenir

Comprende una estructura lineal de rumbo N80°E, con una extensión aproximada de 7 km, la cual se extiende desde La comarca El Porvenir (donde toma su nombre), hasta la rivera del río los corralitos ubicados en la comarca El Consuelo, al sur de la hoja topográfica de Achuapa, entre las coordenadas N1437325-E535990 y N1439023-E54561.

Esta falla tiene una buena expresión topográfica y se reconoce a nivel regional por presentar un escarpe pronunciado, con un ángulo de 45° en dirección SE.

La Falla El porvenir, se expresa en una traza rectilínea desplazada por una falla en dirección NW-SE, denominada Falla La Consulta, dando como resultado una zona de relevo de 700 m.

Esta estructura corta a rocas intrusivas de composición granodiorítica (Gd) en el segmento inferior y a rocas andesíticas (An) en el extremo superior.

En los afloramientos visitados, pudieron ser identificados y medidos los indicadores cinemáticos que muestran el sentido de movimiento de la falla, entre ellos se destacan numerosas vetillas escalonadas rellenas de cuarzo, sigmoides sub-verticales, sistemas anastomados dentro de la zona de falla y en particular fracturamientos paralelos, algunos de los cuales se encuentran rellenos por cuarzo, formando vetas (Foto 48), estas fracturas indican que el esfuerzo principal máximo provino en la misma dirección de la falla principal, originadas en zonas de esfuerzos extensionales.

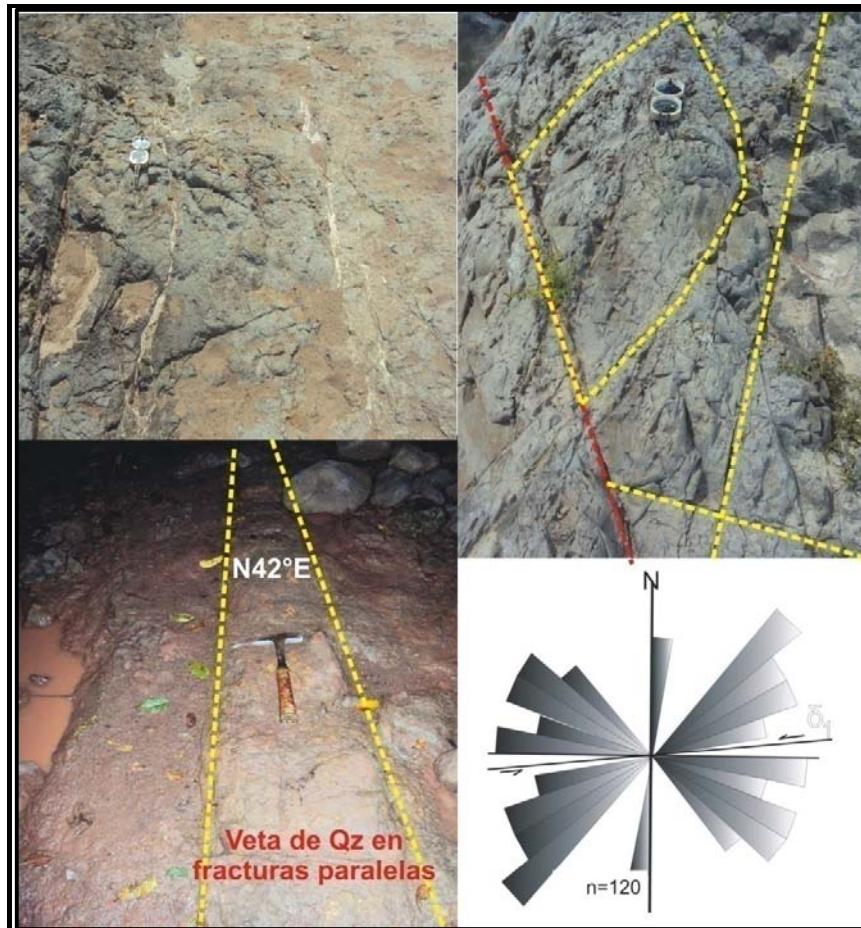


Foto 48. Indicadores cinemáticos de la Falla El Porvenir (N1437325-E0535990), la imagen superior izquierda muestra vetillas escalonadas rellenas de cuarzo, cuya dirección preferencia es NE-SW, la imagen derecha refleja un sistema anastomasado, cuyos sigmoides se encuentran en posición sub-vertical, paralelos a la traza de falla, la foto derecha indica fracturamiento paralelo que dio lugar al emplazamiento de una veta de cuarzo y finalmente la roseta de fracturas que indica la dirección del esfuerzo principal máximo δ_1 en dirección preferencial N85°E y dirección de acortamiento N20°W.

La cinemática de este sitio corresponde a fallas con movimiento normal, evidenciada por la formación de sistemas anastomasados cuyos sigmoides se encuentran en posición sub-vertical y la presencia de estructuras secundarias R y P, indicando la dirección del movimiento de la falla principal.

La roseta de fracturas muestra el esfuerzo principal máximo en dirección N85°E y la dirección de esfuerzo de compresión hacia el N20°W, indicando una geometría conjugada.

El análisis anterior demuestra que la falla El Porvenir corresponde a una falla de movimiento normal.

6.2.3 Fase de fallamiento E-W

Corresponde a la tercera fase de deformación tectónica por fallamiento, se localiza principalmente en la parte este del área de estudio, formando fallas rectilíneas que desplazan la Depresión tectónica de Achuapa y a los sistemas de fallas NE-SW en sentido lateral izquierdo, de igual manera, cortan y deforman a la Caldera de Achuapa.

En el aspecto de mineralización a través de fallas E-W, se tiene muy poca información; sin embargo, se encontró vetas de cuarzo y vetillas rellenas de sílice y carbonatos en esta dirección, deformadas únicamente por fallas de dirección NW-SE, esto indica, que la fase de fallamiento E-W, es más reciente que las NW-SE.

Esta fase tectónica está representada por dos fallas paralelas localizadas particularmente en el municipio de Achuapa, las cuales se describen a continuación:

6.2.3.1 Falla La Flor

Se denomina falla La Flor a una estructura rectilínea que se ubica en la comarca La Flor, al noreste del municipio de Achuapa, entre las coordenadas N1449947-E553580 y N1450510-E534408, con una extensión superficial de 19 km y una orientación E-W.

A nivel regional la falla La Flor, se exhibe con un marcado escarpe de 45° de inclinación en el margen lateral, ubicado en dirección sur.

Geomorfológicamente expone estructuras de flatirones erosionados, localizados en la parte frontal del plano de falla (Foto 49), lo cual indica que esta estructura tuvo desplazamiento en dirección E-W; a su vez, se forman copas de vino o zonas de hundimiento en el plano de falla, cuya forma está relacionada a erosión de las zonas laterales de la falla.

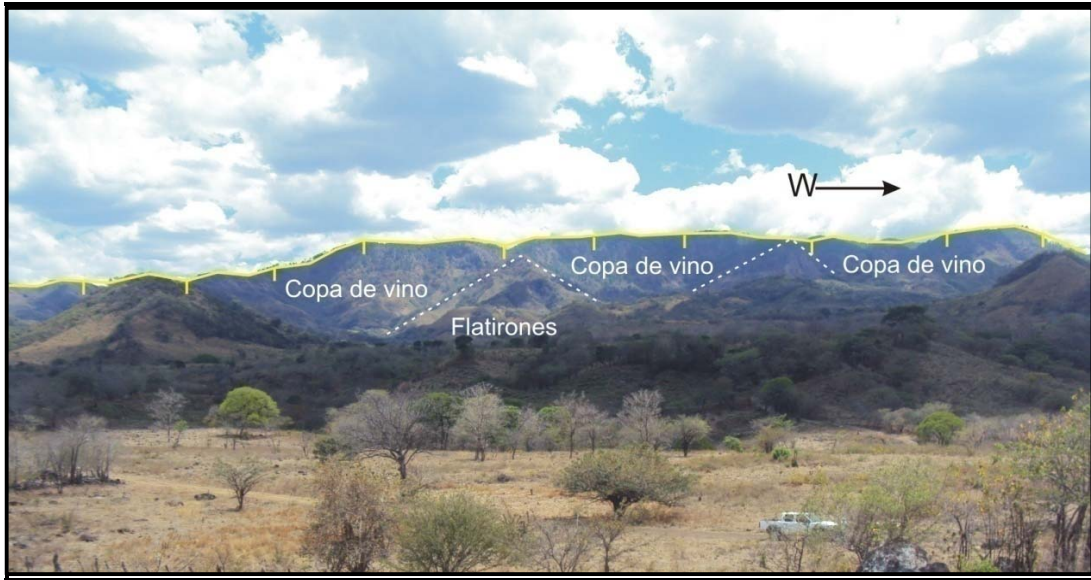


Foto 49. Morfología de la Falla La Flor (N1449947-E553580), ubicada en dirección E-W, mostrando escarpe del bloque levantado y estructuras de flatirones y copas de vino en los laterales de la misma.

Esta falla se encuentra desplazando a estructuras lineales de dirección N-S y NE-SW, con un movimiento lateral izquierdo.

La falla La Flor, muestra un arreglo simple, compuesto por un único segmento, desplazado por una falla de dirección NW-SE, denominada Falla Los Hornos (N1451000-E551000).

No se encontraron indicadores cinemáticos de esta estructura, sin embargo, la expresión morfoestructural y los escarpes observados tanto en campo como en fotografías aéreas y mapas, indican que se trata de una falla normal.

6.2.3.2 Falla Santa Teresa

Corresponde a una estructura rectilínea que se ubica en la comarca del mismo nombre, en el norte del municipio de Achuapa, entre las coordenadas N1444095-E551669 y N1444073-E541900, con una extensión superficial de 10 km y orientada E-W.

Se expone como un corte brusco en el borde este de la caldera Achuapa, (como se observa en la foto 50), desplazando el flanco este de la caldera y deformándola en sentido lateral izquierdo.



Foto 50. Morfología de la Falla Santa Teresa (N1449947-E553580), ubicada en dirección E-W, mostrando la traza de falla, lo cual produce un desplazamiento brusco en la continuidad del borde este de la Caldera Achuapa.

Morfológicamente, esta estructura constituye un escarpe muy pronunciado, sobrepasando los 45° de inclinación.

La imagen muestra un corte brusco en la continuidad del flanco, permitiendo así el paso de un río a través de esta zona de debilidad estructural.

La Falla Santa Teresa se encuentra desplazando a las estructuras que conforman la Depresión Tectónica de Achuapa, con un movimiento lateral izquierdo; esta estructura posee un arreglo simple y sin deformación ocasionada por otras estructuras.

Afecta principalmente a rocas piroclásticas de composición dacítica (Td) y se extiende hasta alcanzar sedimentos aluviales (Qal) colmatados en el valle de Achuapa.

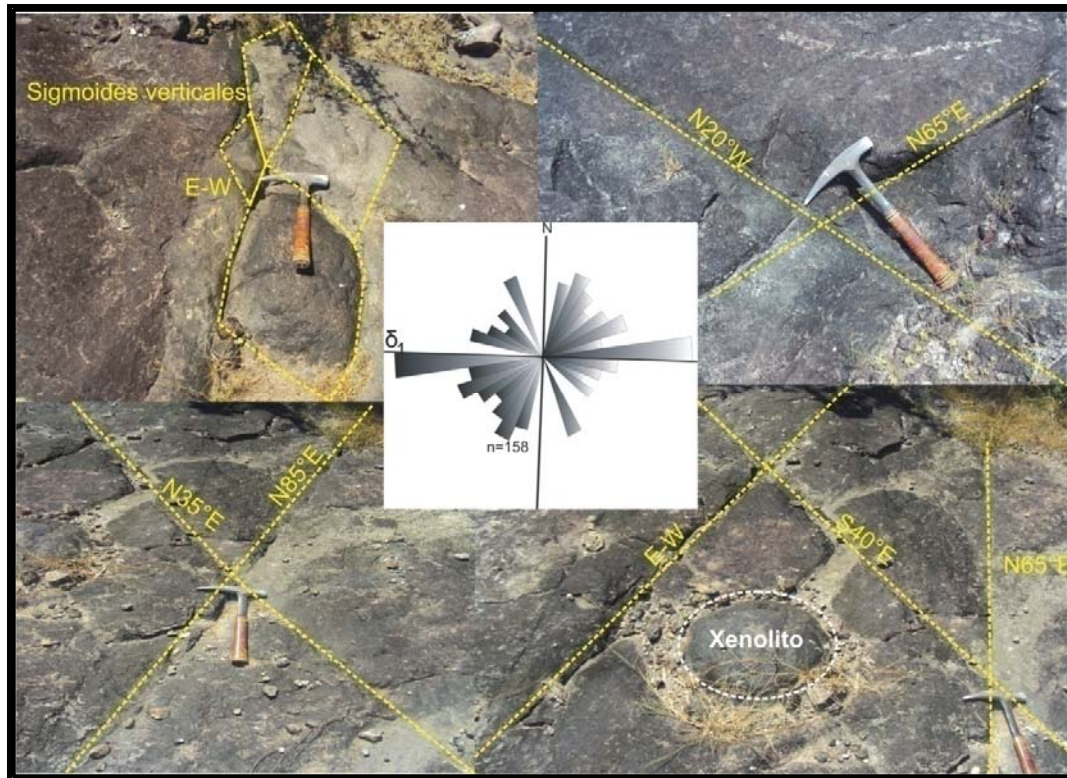


Foto 51. Nótese indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la Falla Santa Teresa (N1449947-E553580), cuya principal característica es la geometría conjugada de sus fallas y fracturas, la roseta de fracturas indica la dirección preferencial de la falla.

Los principales indicadores cinemáticos de esta falla son estructuras conjugadas y sistemas anastomados, cuyos sigmoides se encuentran en posición sub-vertical, característicos de fallas con movimiento normal (Foto 51).

La fracturación intensa de las rocas en los afloramientos estudiados demuestra haber estado sometidos a una intensa actividad tectónica que los deformó.

Los lentes de cizallamiento o sigmoides se encuentran en la misma dirección de la falla principal E-W.

La roseta de fracturas expone la orientación preferencial de la falla, dando como resultado una dirección del esfuerzo principal máximo δ_1 entre N88°E, E-W y N86°W, cuya dirección de acortamiento se genera en N45°W.

Lo anterior, demuestra que la Falla Santa Teresa, es una falla de movimiento normal.

6.2.4 Fase de fallamiento NW-SE

Pertenece a la última fase de deformación tectónica y se caracteriza por estructuras de extensión paralelas a la Fosa Mesoamericana y la Depresión de Nicaragua.

Las mineralizaciones del área de estudio en esta fase, se ubican en la zona de transición entre las rocas volcánicas Cuaternarias de la Depresión de Nicaragua y los terrenos metamórficos Paleozoicos del norte del país (Parson Corporation, 1972).

En el área de Somotillo y Achuapa, predominan las rocas volcánicas del Terciario del Grupo Coyol, las cuales son intruidas por cuerpos plutónicos alineados en dirección NW-SE, a través de sistemas de fallas paralelos a la Depresión, formando a su vez, pequeños bloques fallados (Parson Corporation, 1972).

Las fallas NW-SE, se encuentran distribuidas en toda el área de estudio, principalmente en la hoja topográfica de Somotillo y se encuentran desplazando a todos los sistemas de fallas, a la Depresión tectónica de Achuapa y las estructuras caldéricas emplazadas en el área.

Esta fase se encuentra dividida en tres sub-fases, que fueron determinadas por la variación de ángulo entre ellas a medida que se acerca a la zona volcánica Cuaternaria.

6.2.4.1 Sub-fase NW de alto ángulo

Corresponden a extensas fallas sub-paralelas, emplazadas en dirección preferencial N80°W, las cuales se extienden desde la hoja topográfica de Achuapa, hasta la hoja topográfica Somotillo.

A continuación se describen las principales fallas correspondientes a esta sub-fase:

- **Falla El Guasimito**

Es una falla localizada al sureste del municipio de Somotillo, entre las coordenadas N1440959-E515323 y N1438478-E524699, en las cercanías de la comunidad El Guasimito.

Corresponde a una falla orientada en dirección N70°W, cuya longitud aproximada es de 9.5 km, extendiéndose al área de Villanueva-El Sauce, entre las coordenadas N143700-E526000.

Morfológicamente se manifiesta en la deflexión del curso del Río Negro y Achuapita, con un movimiento lateral derecho (Figura 7), se encuentra cortando las unidades geomorfológicas de colinas volcánicas (V16) y de colinas denudacionales (D3).

Afecta a rocas de composición dacítica (Da), andesítica (An) y algunos sedimentos aluviales (Qal) de la comarca Valle Las Pilas (N1437500-E525000).

La falla El Guasimito, posee un arreglo simple y sin deformación ocasionada por otras estructuras, cuyos indicadores cinemáticos (Foto 52) representan la deformación ocurrida en las rocas del área al ser expuestas a esfuerzos de extensión y/o compresión.

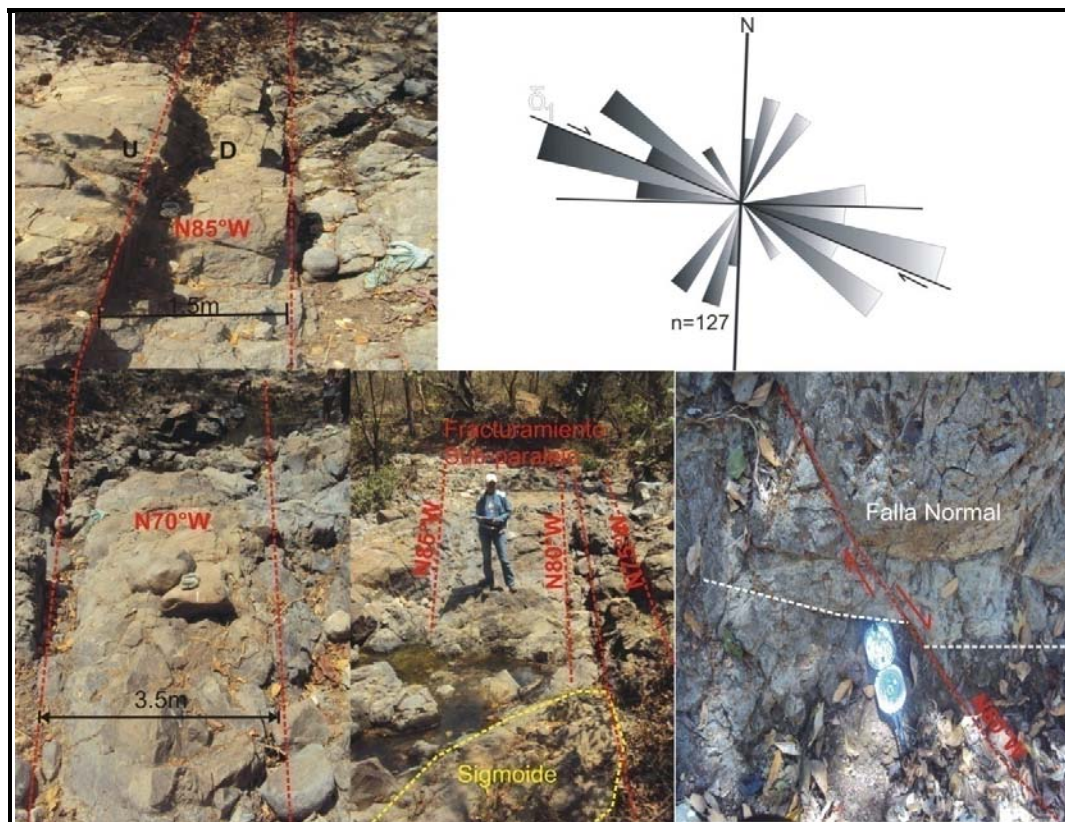


Foto 52. Evidencias de la cinemática de la falla El Guasimito (N1440959-E515323), la imagen superior muestra una falla normal indicando el bloque que sube (U) y el bloque que baja (D), las imágenes inferiores muestran fracturamiento sub-paralelo, característico de fallas normales y roseta de fracturas exponiendo la dirección de esfuerzo principal máximo hacia el N70°W.

Entre los indicadores cinemáticos que se pudieron observar se destacan sigmoides en posición vertical, desplazamiento de rocas, brechas de falla, clastos rotados en dirección del bloque descendente, fracturas sub-paralelas y fracturas secundarias R y P (Foto 52).

El análisis de las rosetas de fracturas, exhibe la dirección preferencial del esfuerzo principal máximo σ_1 hacia el N70°W y cuya dirección de acortamiento o esfuerzo extensional está dirigido N40°E.

De acuerdo con las características analizadas anteriormente la Falla El Guasimito, corresponde a una estructura lineal con movimiento normal.

- **Falla El Tule**

Se propone como Falla El Tule, a una falla situada al suroeste del área de estudio, cuya mejor exposición se observa en las riberas del Río El Tule, Achuapa.

Se trata de una estructura lineal orientada N65°W, con una longitud aproximada de 18 km, recorriendo los sitios ubicados entre las coordenadas N1442257-E516401 y N1437387-E533605.

Al igual que la Falla El Guasimito, esta estructura se manifiesta en la deflexión del curso del Río Negro y Achuapita, con un movimiento lateral derecho (Figura 7).

Regionalmente la Falla El Tule, posee una geometría en echelón derecho, dividida en tres segmentos consecutivos, cuya zona de relevo varía entre 1 km-3 km, donde la deformación es ocasionada por estructuras de dirección NW de bajo ángulo.

Afecta a coladas de lava de composición andesítica (An), dacítica (Da), flujos piroclásticos dacíticos (Td) y brechas (Br), además está cortando a un cuerpo intrusivo granodiorítico (Gd), localizado en la hoja topográfica de Achuapa.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados, son fracturas conjugadas, expuestas a lo largo de la falla principal, sigmoides en posición vertical y fracturas secundarias R y P (Foto 53), las cuales indican el movimiento del bloque que baja.

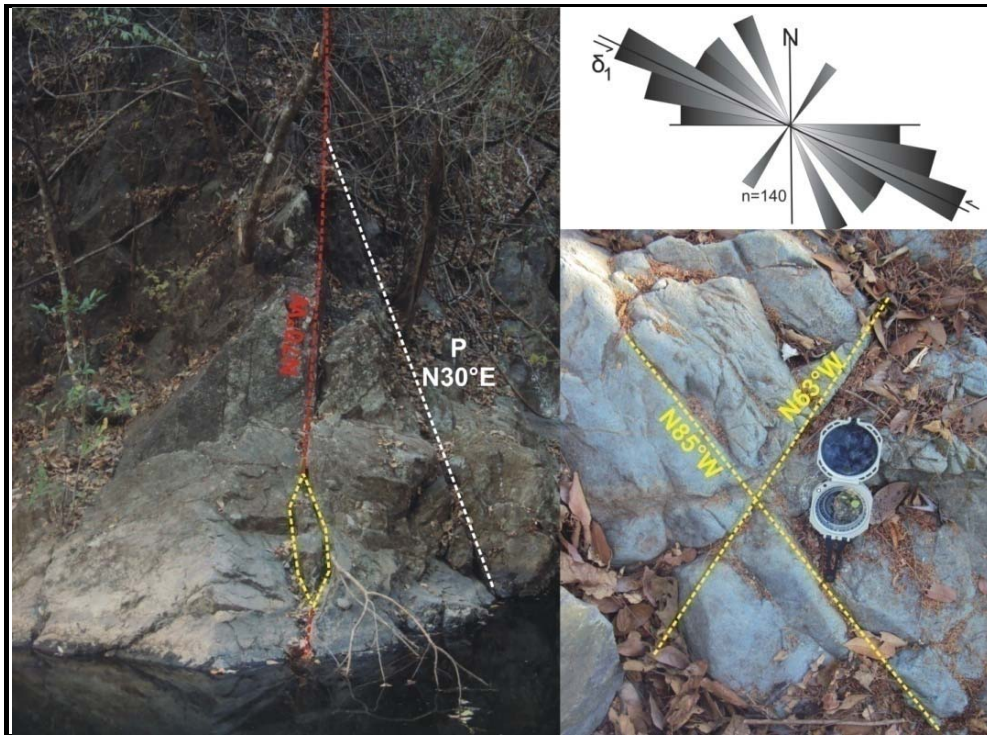


Foto 53. Véase fractura principal en dirección N70°W, mostrando sigmoide en posición vertical y estructura secundaria P indicando el movimiento del bloque que sube; fracturamiento conjugado y roseta de fracturas la cual expone la dirección preferencial de la falla principal. Falla El Tule (N1442257-E516401).

La roseta de fracturas expone una dirección preferencial hacia el N65°W, cuya dirección de acortamiento está dirigida al N40°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo σ_1 con un ángulo alto.

De acuerdo a las características anteriores, se demuestra que la Falla El Tule, es una falla de movimiento normal con una componente de movimiento lateral derecho.

- **Falla La Consulta**

Se trata de una falla ubicada al suroeste del área de estudio, exponiéndose principalmente en las riberas del Río Negro, Somotillo y cortando los cerros El Chifle (N1439100-E529000), Cerro La Chaperna (N1439200-E525000) y Cerro La Pacaira (N1441800-E517000).

Es una falla orientada N75°W, con una longitud aproximada de 26.5 km, ubicada entre las coordenadas N1444355-E515042 y N1437325-E540521.

Esta estructura se manifiesta en pronunciados escarpes que se exhiben al ser cortados los cerros anteriormente mencionados, cuyas pendientes son mayores de 35° , en dirección NE.

Se encuentra afectando a rocas de composición andesítica (An), dacítica (Da), material aluvial (Qal), Brechas (Br) y sirve de contacto entre rocas andesíticas y un cuerpo intrusivo granodiorítico (Gd) y cuarzodiorítico (Qzd).

La falla La Consulta, corresponde a fallas con un arreglo en echelón derecho, dividida en tres segmentos principales, cuya zona de relevo varía entre 1 km-1.5 km, la cual se encuentra desplazada con movimiento lateral derecho por estructuras en dirección NW de bajo ángulo.

La zona de cizalla presenta varios indicadores cinemáticos, entre ellos, estructuras sigmoidales, con dimensiones entre 1 m a 2 m de altura y de 0.60 m a 1.20 m de ancho, todos ellos ubicados en posición vertical y fracturas conjugadas expuestas a lo largo de la falla principal (Foto 54), los cuales definen una dirección de movimiento normal sobre el plano de la falla principal.

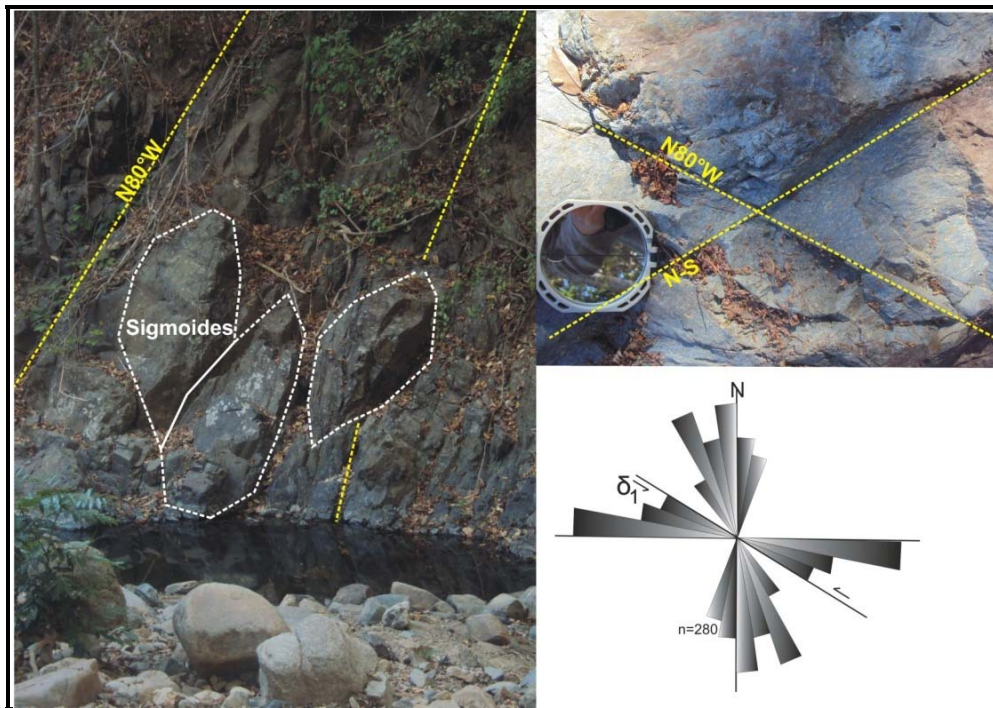


Foto 54. Falla principal en dirección $N80^\circ W$, la cual expone una serie de sigmoides en posición vertical; fracturamiento conjugado y roseta de fracturas exhibiendo la dirección preferencial de la falla principal. Falla La Consulta (N1444355-E515042).

La roseta de fracturas muestra la dirección preferencial de la falla hacia el N60°W y una dirección de acortamiento dirigida al N30°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo $\delta 1$ con un ángulo alto.

Conforme a las características anteriores, se ha podido demostrar que la Falla La Consulta, es una falla de movimiento normal con una componente de movimiento lateral derecho y geometría conjugada.

- **Falla El Rodeíto**

La Falla El Rodeíto, es una estructura rectilínea orientada N76°W, que se ubica en la comarca del mismo nombre, al suroeste del área de estudio, se localiza entre las coordenadas N1446496-E513436 y N1437325-E549585, con una extensión superficial de 37 km, extendiéndose hacia el sureste hasta la hoja topográfica de El Sauce, al sur de la Caldera Piedras Gordas.

Se trata de una falla regional, que abarca desde la comarca Las Mesitas, en Somotillo, hasta la comarca Wiskilí en Achuapa, la cual se encuentra afectando a coladas de lava de composición andesítica (An) y dacítica (Da), brechas (Br) y tobas andesíticas (Tan) y dacíticas (Td).

Morfológicamente se expresa en forma de un escarpe alargado, cuya pendiente sobrepasa los 25°, buzando hacia el SW (Foto 55).



Foto 55. Morfología de la Falla El Rodeíto (N1446496-E513436), ubicada en dirección NW, mostrando la traza de falla, se puede observar escalonamiento de la falla principal.

Esta falla posee un arreglo en echelón derecho, cuyas zonas de relevo fluctúan entre 1 km a 1.5 km, sugiriendo que la falla fue sometida a un campo de esfuerzos extensionales.

Los principales indicadores cinemáticos de esta falla son vetillas de cuarzo escalonadas, sigmoides sub-verticales, fracturas secundarias R y P, fracturas paralelas, brecha y harina de falla (Foto 56), característicos de fallas con movimiento normal.

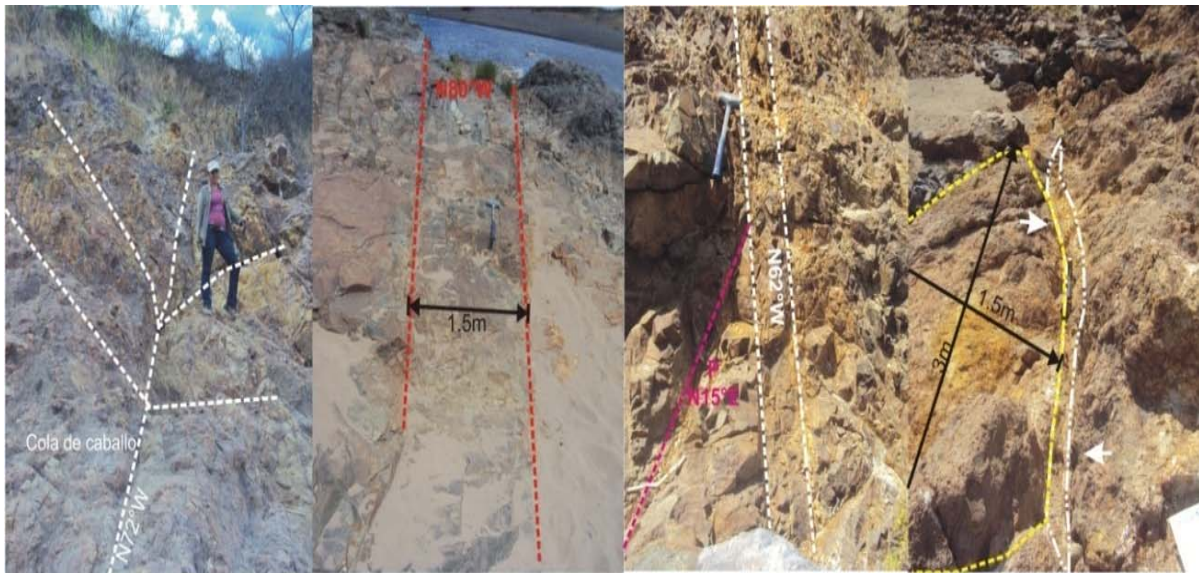


Foto 56. Indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la Falla El Rodeito (N1446496-E513436), se exhiben, de derecha a izquierda, vetillas escalonadas y sigmoides sub-verticales, fracturamiento paralelo, fracturamiento secundario P, brecha de falla y terminación en cola de caballo, indicando que la falla principal posee un movimiento normal.

La fracturación intensa de las rocas en los afloramientos estudiados, demuestran haber estado sometidos a una intensa actividad tectónica que los deformó.

Se propone que esta fuerza fue causada durante la migración del Arco Volcánico del Coyol a su posición actual, ya que se observa una rotación gradual y progresiva en dirección NW-SE, a favor de las manecillas del reloj.

Se determinó la presencia de una falla lítrica sintética (Foto 57), mostrando estructuras en dominó, esta falla es asimétrica y rotacional, donde cada bloque que compone la estructura en dominó rota en el mismo sentido de la falla principal.

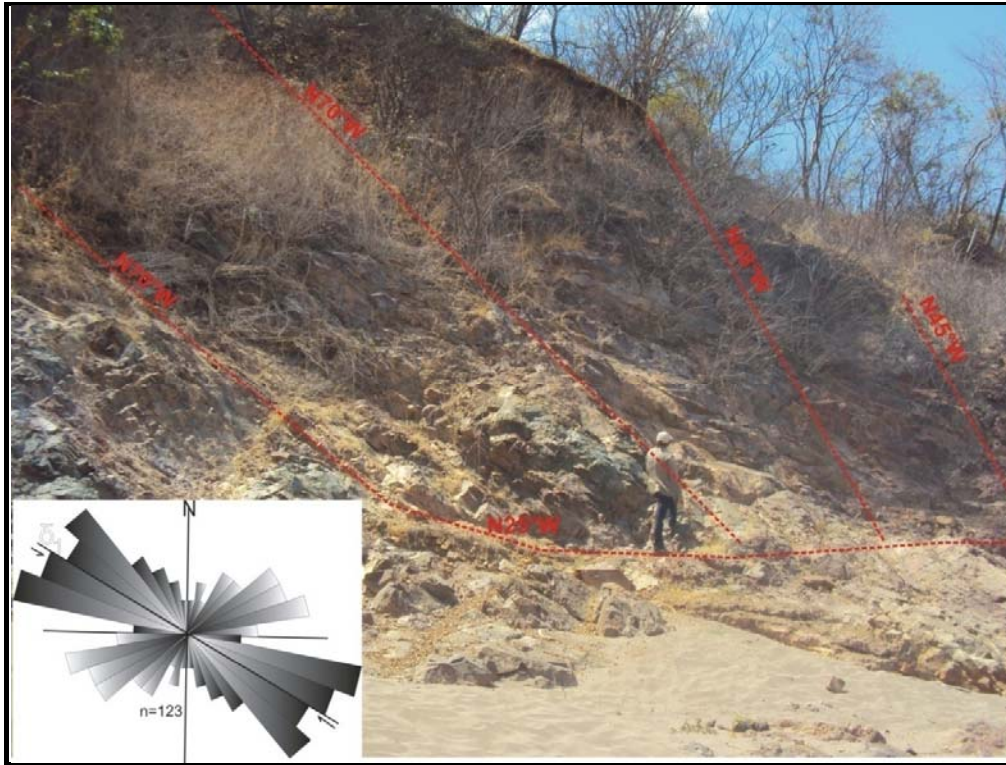


Foto 57. Falla lítrica sintética generada por el curvamiento de la falla principal en profundidad, roseta de fracturas indicando dirección del esfuerzo principal máximo. Río El Gallo (N1446100-E514225).

La falla lítrica es una evidencia marcada de fallamiento de tipo normal, donde el ángulo del plano de falla cambia de dirección, ocasionando movimientos rotacionales en los bloques consecuentes.

Las zonas mineralizadas se exponen principalmente en vetas de cuarzo asociadas a sulfuros (MEDE-MINAS, 1996).

La roseta de fracturas expone la orientación preferencial del esfuerzo principal máximo σ_1 al N60°W y dirección de acortamiento al N50°E.

De lo anterior se deduce que la falla El Rodeito, es una falla de tipo normal.

- **Falla El Jiñocuao**

En este estudio se denomina falla El Jiñocuao, a una falla ubicada al noreste del municipio de Somotillo, entre las coordenadas N1450989-E517213 y N1437762-E552609, con una orientación N70°W y una longitud aproximada de 38 km.

Regionalmente se encuentra cortando y desplazando las calderas El Danto, Achuapa y Piedras Gordas, donde sus pendientes escarpadas alcanzan aproximadamente 25°, en dirección SW.

Cabe destacar que esta falla se encuentra afectando a coladas de lava de composición andesítica (An), dacítica (Da) y tobas dacíticas (Td).

Morfológicamente se presenta como una falla escalonada con un arreglo en echelón derecho, dividida en cuatro segmentos principales, cuya zona de relevo varía entre 1 km-1.5 km, donde la falla principal se encuentra desplazada con movimiento lateral derecho por estructuras en dirección NW de bajo ángulo.

La zona de cizalla presenta varios indicadores cinemáticos (Foto 58), entre ellos, estructuras sigmoidales, con dimensiones entre 0.5 m a 2 m de altura y de 0.30 m a 1 m de ancho, todos ellos ubicados en posición vertical, fracturas conjugadas expuestas a lo largo de la falla principal, los cuales definen una dirección de movimiento normal sobre el plano de la falla principal y fracturamiento secundario que indica el movimiento de la falla.

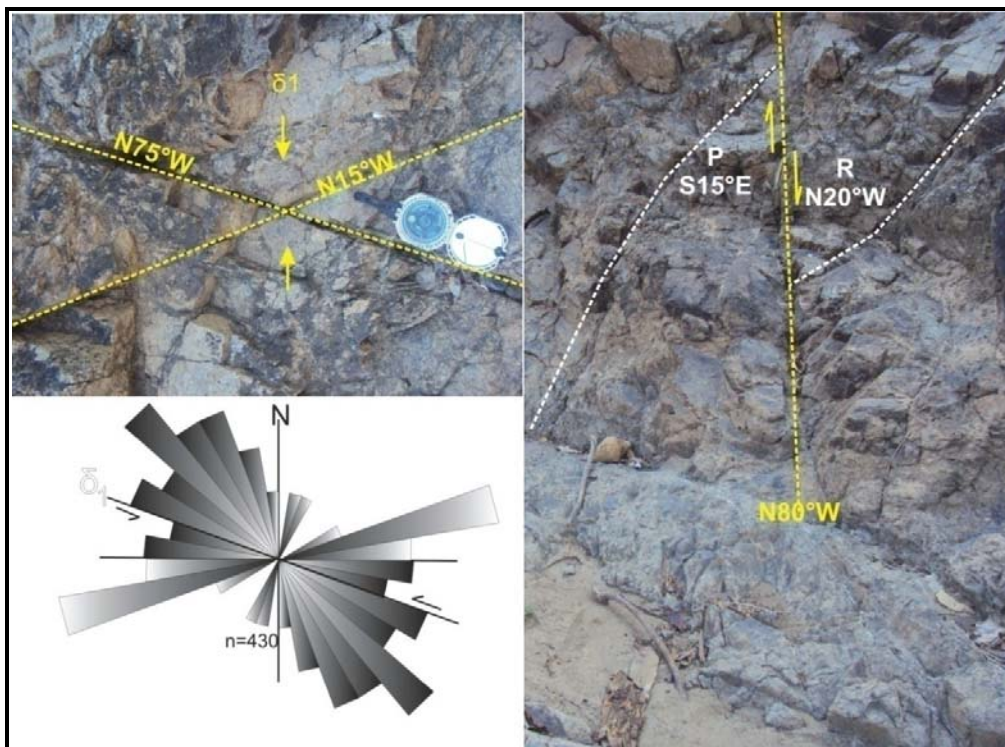


Foto 58. Zona de falla donde se observan fracturas conjugadas características de fallas con movimiento normal y estructuras secundarias R y P, que indican el movimiento de la falla principal, la roseta de fracturas indica la dirección del esfuerzo máximo. Río El Gallo (N1450900-E517700).

La roseta de fracturas muestra la dirección preferencial de la falla hacia el N70°W y una dirección de acortamiento está dirigida al N45°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo δ_1 con un ángulo alto.

Las principales mineralizaciones asociadas a esta falla, se dan en la mina Loma Los Encuentros, donde aparecen vetas hidrotermales que contienen oro, plata, cobre y plomo, cuyas fisuras mineralizadas están orientadas NW-SE (Hodgson, 1971).

Conforme a las características anteriores, se ha podido demostrar que la Falla El Jiñocuao, es una falla de movimiento normal.

- **Falla Achuapa**

La Falla Achuapa es una estructura lineal segmentada, que se sitúa al noroeste y sureste del área de estudio, cortando las hojas topográficas de Somotillo y Achuapa, recorriendo los sitios ubicados entre las coordenadas N1454618-E0509436 y N1439471-E0553389, con una orientación dirigida N67°W y una longitud aproximada de 46.5 km, siendo esta la falla de mayor extensión en el área de estudio, ya que probablemente el segmento NW se extienda hasta el vecino país de Honduras.

Esta estructura se manifiesta en la deflexión del curso del río Los Quesos y Achuapita, con un movimiento lateral derecho, además se encuentra cortando los cerros Ceiba Herrada (N1453500-E511000) y El Burro (N1452500-E512600), las Calderas La Danta, El Danto, El Guaylo, Achuapa y Piedras Gordas (Figura 7).

Afecta a coladas de lava de composición andesítica, dacítica, flujos piroclásticos dacíticos y está cubierta por sedimentos aluviales del Valle de Achuapa.

La falla Achuapa, corresponde a un sistema de fallas con arreglo en echelón derecho, dividida en cinco segmentos consecutivos, cuyas zonas de relevo varían entre 0.8 km-1.5 km, donde la deformación es ocasionada por estructuras en dirección NW de bajo ángulo.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados, son fracturas conjugadas expuestas a lo largo de la falla principal, sigmoides en posición vertical y escalones congruentes (Foto 59), las cuales indican el movimiento del bloque que baja.

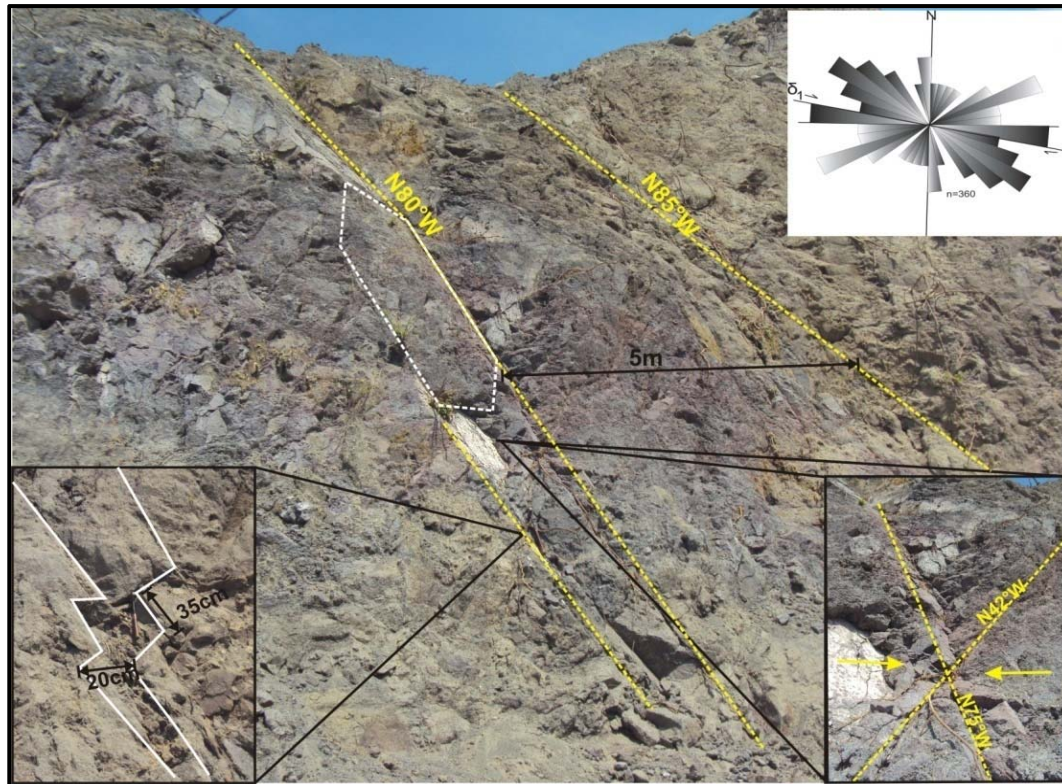


Foto 59. Zona de cizalla del segmento sureste de la Falla Achuapa, mostrando sigmoide en posición vertical y fracturamiento conjugado, indicando movimiento de falla normal, escalones congruentes exponiendo el bloque de falla que baja y roseta de fracturas la cual exhibe la dirección preferencial de la falla principal. Lugar El Maneadero (N1442000-E546500).

También se encontraron brechas de falla de hasta 5 m de ancho, dentro de la cual se exponen sistemas anastomados y fracturamiento conjugado.

La roseta de fracturas expone una dirección preferencial hacia el N80°W, cuya dirección de acortamiento está dirigida al N65°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo δ_1 con un ángulo alto.

De acuerdo a las características anteriores, se demuestra que la falla Achuapa, es una falla de movimiento normal con una componente lateral derecha.

6.2.4.2 Sub-fase NW de ángulo medio

Corresponden a extensas fallas sub-paralelas, con arreglo en echelón derecho, emplazadas en dirección preferencial N45°W, las cuales se exhiben principalmente en la parte oeste del área de estudio, indicando que su movimiento es regido por la tectónica que afecta a la Depresión de Nicaragua.

- **Falla Somotillo**

Es una falla localizada al noreste del municipio de Somotillo, en las cercanías de la cabecera municipal del mismo nombre, entre las coordenadas N1445727-E507586 y N1437369-E515128, extendiéndose hasta el municipio de Villanueva, por aproximadamente 2 km.

Corresponde a una falla orientada N40°W, cuya longitud aproximada es de 11 km, regionalmente posee un arreglo en echelón izquierdo, cuya zona de relevo varía de 0.5 km a 0.8 km.

Esta falla se expresa en el terreno, como una zona de domos alineados de composición dacítica con rumbo general N40°W (Foto 60).

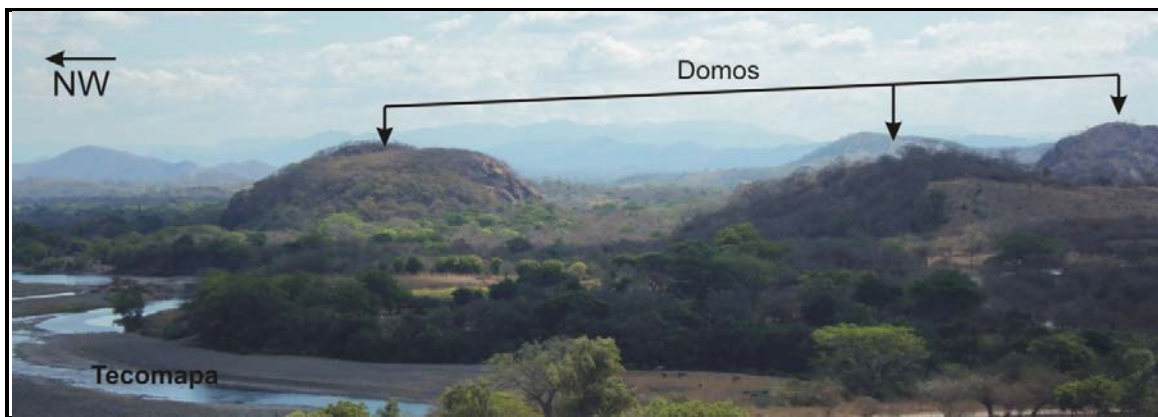


Foto 60. Alineamiento de domos dacíticos en dirección N40°W y Río Tecomapa (N1443000-E510500), deflexado e indicando la presencia de la Falla Somotillo.

La falla Somotillo es identificable, por el abundante fracturamiento en las rocas que afecta, por el colapso de estructuras volcánicas y la deflexión de los ríos que atraviesa, se encuentra afectando principalmente a coladas de lava de composición andesítica (An) y algunos sedimentos aluviales (Qal) acumulados en la ribera del Río El Gallo y Río Negro.

Geomorfológicamente, corresponde a la unidad estructural de domos (S10), exclusivamente para esta falla, ya que los domos pueden verse alineados, hasta cortar una estructura semi-circular, denominada El Pajuil (N1437000-E513900).

La cinemática de esta estructura, es expuesta principalmente por el relleno síliceo de fracturas, la presencia de vetillas lineales y en rosario, como las mostradas en la foto 61, indican constante actividad hidrotermal que relleno la fractura con sílice, la mayoría de las cuales son ricas en minerales metálicos, sin embargo no se determinó el tipo de metales debido a que el enfonque del presente trabajo no está vinculado a la minería.

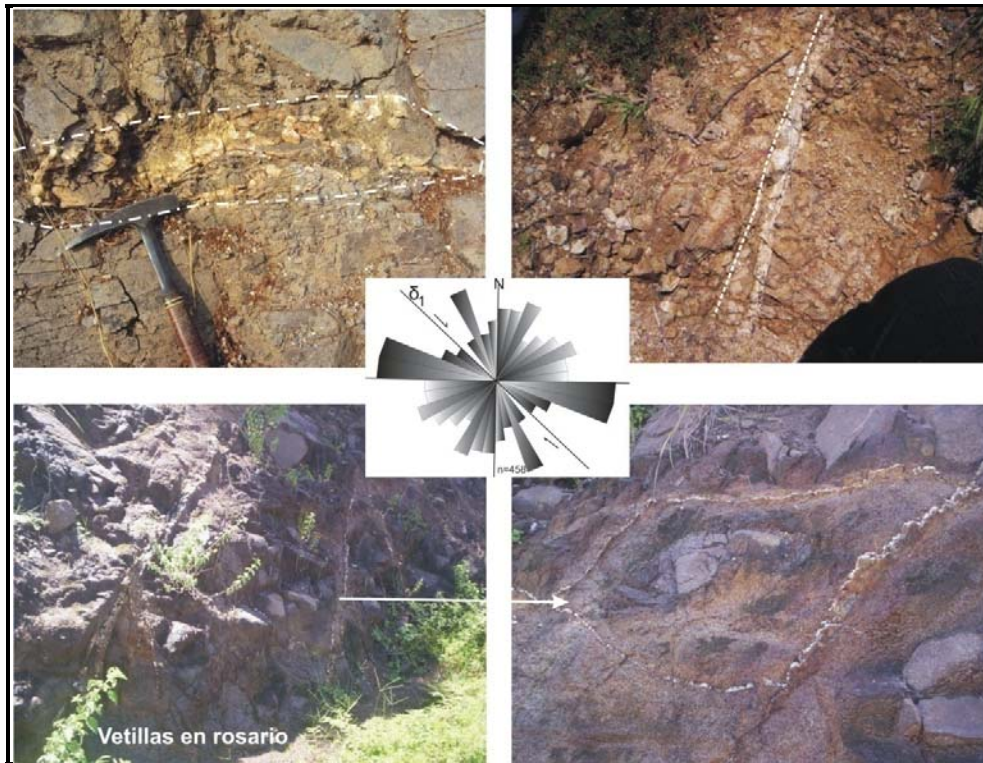


Foto 61. Silicificación en fracturas de ángulo medio a lo largo de la Falla Somotillo (N1445727-E507586).

Sobre la traza de falla se pudieron observar y medir fallas secundarias con movimiento normal, donde se determinó el bloque que baja y el bloque que sube, de acuerdo a desplazamiento de rocas, posicionamiento de sigmoides, brechas de falla, clastos rotados, fracturas sub-paralelas y fracturas secundarias R y P.

La roseta de fracturas, exhibe la dirección preferencial del esfuerzo principal máximo δ_1 hacia el N45°W y cuyo esfuerzo de extensión se dirige al N65°E.

Tomando en cuenta las características analizadas anteriormente, se determina que la Falla Somotillo, fue regida por esfuerzos extensionales que dieron a la falla un movimiento de tipo normal.

- **Falla Los Balcones**

En este estudio se propone como Falla Los Balcones, a una falla situada en la comunidad Los Balcones, al norte del municipio de Somotillo, entre las coordenadas N1452166-E508666 y N1446984-E514069, con una orientación N40°W y una longitud aproximada de 7.5 km.

Regionalmente existen varios elementos que indican la presencia de esta falla, tales como: cerros alineados y truncados en dirección de la traza de falla, omisión del estrato de brecha localizado entre una colada de lava dacítica y tobas andesíticas y el contacto angular entre los estratos de dacita y tobas andesíticas.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados (Foto 62), son fracturas conjugadas expuestas a lo largo de la falla principal, sigmoides en posición vertical y escalones congruentes, las cuales indican el movimiento del bloque que baja.

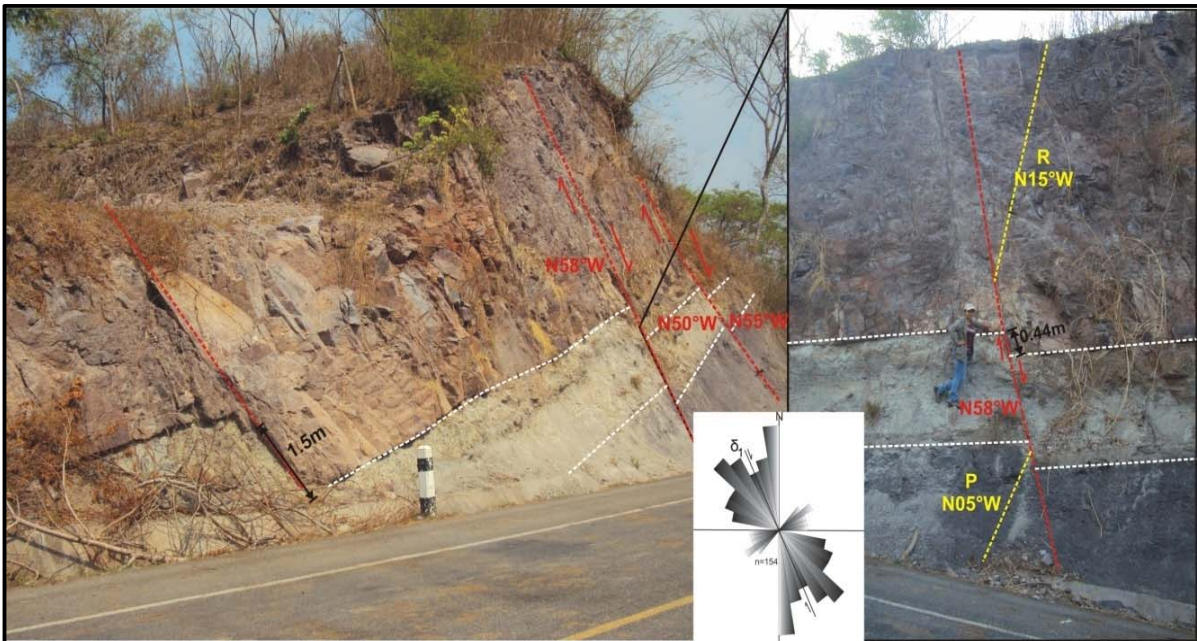


Foto 62. Falla Los Balcones (N1452166-E508666), nótese desplazamiento de los estratos, escalones congruentes y fracturamiento secundario, exponiendo el bloque de falla que baja y roseta de fracturas exhibiendo la dirección preferencial de la falla principal.

Las fracturas conjugadas se exponen principalmente en las zonas de ruptura secundaria, mostrando direcciones rumbo N15°W conjugadas con fracturas N50°W, indicando que las dos generaciones de fracturas se crearon al mismo tiempo durante el desplazamiento de la falla.

Los sigmoides se ubican en posición vertical, estos se encuentran generalmente asociados al escalonamiento ocasionado por la ruptura de la falla principal.

Los indicadores cinemáticos más relevantes de esta falla corresponden a escalones congruentes, generados por el movimiento descendente del bloque de roca fallado, en los cuales se logra observar el movimiento de la falla principal (Foto 62), estos se produjeron como consecuencia de pausas ocurridas durante el deslizamiento de las rocas sobre el plano de falla.

Las fracturas secundarias R y P, se encuentran directamente relacionadas al escalonamiento anteriormente mencionado, esto significa que el fracturamiento secundario se originó durante se producía el movimiento que desplazó los bloques, como consecuencia de los esfuerzos de extensión creados en la falla principal.

Un conjunto de estrías en posición vertical fue encontrado sobre el plano de falla, esto indica que el movimiento principal de la falla se generó por movimientos normales.

La característica más importante de esta falla son los desplazamientos observados en los estratos, en los cuales se pudo identificar fácilmente el movimiento normal de la falla.

La roseta de fracturas expone una dirección preferencial hacia el N30°W, cuya dirección de acortamiento está dirigida al N45°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo σ_1 con un ángulo medio.

De acuerdo a las características anteriores, se demuestra que la Falla Los Balcones, es una falla de movimiento normal.

6.2.4.3 Sub-fase NW de bajo ángulo

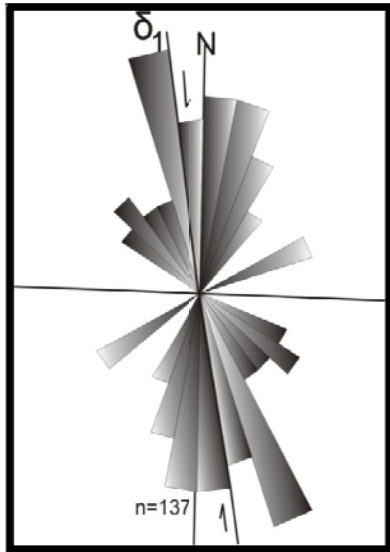
Es la última fase de fallamiento en el área de estudio, se trata de extensas fallas sub-paralelas, con arreglo en echelón izquierdo, emplazadas en dirección preferencial N20°W, las que se exponen principalmente en la parte central del área de estudio.

- **Falla Los Araditos**

La falla Los Araditos se ubica en la parte central del área de estudio, entre las coordenadas N1455540-E0527389 y N1437369-E0530543, con una orientación N15°W y una longitud aproximada de 18 km, extendiéndose hacia el norte, a la hoja topográfica San Juan de Limay y hacia el sur a la hoja topográfica de El Sauce, sitio en el cual cambia su ángulo a NW de ángulo medio.

El principal rasgo morfológico que destaca a esta falla es un marcado escarpe de aproximadamente 35° de pendiente, en dirección SW, cerros truncados y la marcada deflexión de los Ríos Los Quesos, Santa Rosa y Achuapita.

De acuerdo a los rasgos morfológicos expuestos en el área de estudio y con la ayuda de las fotografías aéreas analizadas se pudo determinar que esta estructura corresponde a una falla con arreglo en echelón izquierdo.



La característica más importante de esta falla en las fotografías aéreas, es la presencia de un cambio brusco en el tono fotográfico, indicando la presencia de cambios súbitos de elevaciones, lo cual permitió delimitar la zona del escarpe de falla.

La roseta de fracturas, determinada a partir de interpretación fotoestructural, expone una dirección preferencial hacia el $N10^\circ W$, cuya dirección de acortamiento está dirigida al $N60^\circ E$, indicando la zona de esfuerzo principal máximo σ_1 con un ángulo bajo (Figura 19).

Figura 19. Roseta de fracturas de la falla Los Araditos

• **Falla El Danto**

Se sitúa en la parte central del área de estudio, entre las coordenadas N1454978-E525096 y N1437424-E528183, con una orientación $N20^\circ W$ y una longitud aproximada de 17.5 km, extendiéndose por aproximadamente 4 km, en la hoja topográfica San Juan de Limay (Schliz, 2009 y Rivera, 2006), atravesando también la hoja topográfica de El Sauce en las coordenadas N1437000-E528000.

Varios elementos indican la presencia de esta falla, entre ellos se destacan: cerros truncados en dirección de la traza de falla, deflexión y rectangularidad del drenaje del Río Negro y Achuapita, además de un escarpe prominente de aproximadamente 30° de pendiente en dirección SW.

Esta estructura corresponde a una falla con arreglo simple, sin deformación ocasionada por otras estructuras.

Los principales indicadores cinemáticos encontrados, son fracturas conjugadas, sigmoides verticales, sistemas anastomados, fracturas y vetillas sílfceas conjugadas, expuestas a lo largo de la falla principal (Foto 63).

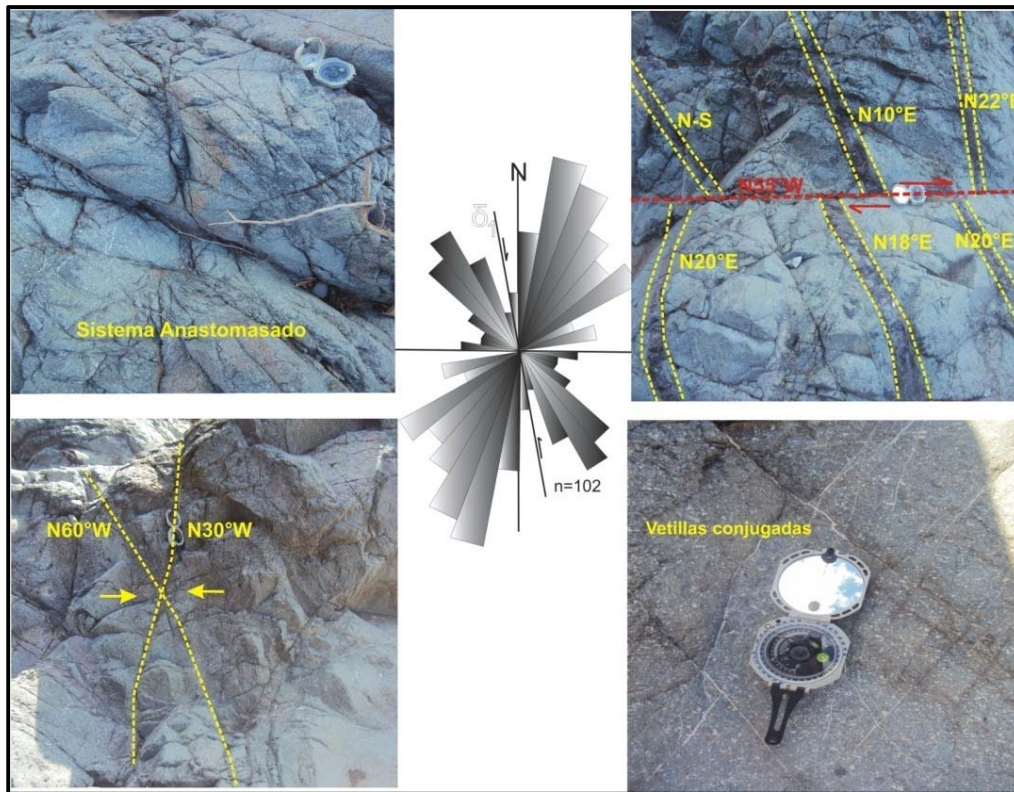


Foto 63. Indicadores cinemáticos de la Falla La Danta, en el lecho del Río Negro (N1447139-E526134), entre Somotillo y Achuapa, nótese desplazamiento de pequeños diques andesíticos y roseta de fracturas exhibiendo la dirección preferencial de la falla principal.

Las características más importantes de esta falla son los desplazamientos observados en pequeños diques andesíticos, intruyendo rocas dacíticas, los cuales están siendo desplazados por una falla de dirección N58°W.

Como se puede observar en la foto 63, las rocas son afectadas principalmente por fracturas conjugadas, las cuales generalmente están siendo rellenadas por cuarzo, formando vetillas conjugadas, lo cual indica que todo el fracturamiento de esa zona se produjo durante el mismo intervalo de tiempo, esto significa que el cizallamiento producido por la falla principal fue muy intenso, creando extensas zonas de ruptura en las rocas aflorantes.

La roseta de fracturas expone una dirección preferencial N10°W, cuya dirección de acortamiento está dirigida al N30°E, indicando la zona de esfuerzo principal máximo σ_1 con un ángulo bajo.

De acuerdo a las características anteriores, se demuestra que la Falla El Danto, es una falla de movimiento normal.

La primera fase de fallamiento tiene como característica principal la formación de una Depresión Tectónica en el área de Achuapa, la cual se describe a continuación:

6.3 Depresión tectónica de Achuapa

Se define como Depresión Tectónica de Achuapa, a una zona de hundimiento tectónico, localizada en la parte central del municipio de Achuapa, la cual presenta orientación general N-S, con una longitud aproximada de 18 km, un ancho de 7 km y una altitud que varía de 500 m a 300 m.s.n.m, mostrando un desnivel de 200 m.

En el perfil A-B, contenido en el mapa geológico del área de estudio (Figura 5), se puede observar claramente, la Depresión Tectónica de Achuapa, la cual se encuentra delimitada por dos fallas de movimiento normal.

La Depresión de Achuapa, se encuentra estructuralmente delimitada por la Falla Las Tablas al Oeste y la Falla El Guanacaste al Este (Foto 64) y por la Caldera San Juan de Limay al norte; esta Depresión, concuerda con la fosa San Juan de Limay descrita por Schliz (2009), siendo esta la continuación regional de dicha estructura.



Foto 64. Depresión Tectónica de Achuapa delimitada por fallas regionales N-S.

Esta estructura, se encuentra afectada por fallas de dirección NE-SW y NW-SW, que desplazan a la Depresión de Achuapa con un movimiento lateral derecho y fallas E-W que lo hace en sentido lateral izquierdo.

Morfológicamente, presenta topografía accidentada de lomas y laderas, ya que en su interior contiene a las calderas de Achuapa y San Juan de Limay y llanuras aluviales en las zonas bajas, esto se puede observar claramente en el perfil geo-estructural de la figura 5, donde se ven claramente los cambios bruscos de elevación variando de menor altura en el oeste a zonas muy altas y escarpadas en el este.

Las zonas bajas, se encuentran rellenas de material aluvial Cuaternario y material piroclástico re trabajado, con un espesor estimado de 15 m, el cual descansa sobre un basamento volcánico andesítico de edad Mioceno.

6.4 Calderas

El fenómeno de subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe, dio lugar a la formación del Arco Volcánico del Coyo, durante el Mioceno (Ehrenborg, 1996; Weinberg, 1992), el cual originó el emplazamiento de estructuras volcánicas en el área central de Nicaragua.

En el área de estudio el emplazamiento de estas estructuras se dio a través de sistemas fallas de dirección N-S y NE-SW.

Las estructuras ubicadas en el área central de Achuapa fueron originadas por fallas N-S y corresponden a las calderas de Achuapa, San Juan de Limay y El Guaylo, siendo estas más antiguas, respecto a las estructuras formadas en dirección NW-SE.

El segundo emplazamiento se originó a través de estructuras lineales de dirección preferencial NE-SW, las que corresponden a edades más recientes que las anteriores, ya que se ubican en una zona de transición entre rocas volcánicas de edad Terciario y rocas de edad Cuaternario, dispuestas en forma paralela a la zona de subducción, a estas estructuras corresponden las calderas: La Danta, El Danto, Monte Frío y Piedras Gordas.

Como consecuencia, diversas calderas pueden ser observadas en el área de estudio:

6.4.1 Caldera Achuapa

La Caldera Achuapa, corresponde a una estructura circular deformada, localizada en el municipio de Achuapa (N1446000-E547500), sus escarpes comprende: Cordillera Horno Grande, Planes El Lagartillo (Foto 65), Comarca Sandino, Comarca La Calera, Cerro Sulicayán y Comarca Los Llanitos.

Su origen está ligado al ascenso magmático a través de estructuras orientadas N-S, las que posteriormente fueron deformadas por fallas de dirección NE-SW y NW-SE, cuyo diámetro alcanza cerca de los 17 km en su eje mayor y 9 km en su eje menor.

La actividad volcánica de esta caldera se dio como resultado de continuos esfuerzos extensionales debido al movimiento de las fallas orientadas N-S. Se asume que el volcanismo continuó con emisiones voluminosas de ignimbrítas (como las encontradas en la parte superior del escarpe Horno Grande), aún después de deformarse la estructura principal, Además se encontraron escarpes que corresponden a antiguos flancos de la caldera y dentro de estos se observaron cuerpos dómicos ocupando la parte central del valle creado por el colapso de la estructura.



Foto 65. Escarpe Central-Este de la Caldera Achuapa, Planes El Lagartillo (N1445200-547000).

Se sugiere que la caldera Achuapa sufrió tres eventos de resurgencia, el primero se localiza en el sector este del municipio, cuyo escarpe se observa en la comunidad Horno Grande, con domos de composición dacítica emplazados en la zona de hundimiento.

Posteriormente se originó el escarpe central, ubicado en la comunidad El Guanacaste (coordenadas N1447000-E552000), donde también se hace presente el emplazamiento de domos dacíticos (Foto 66).

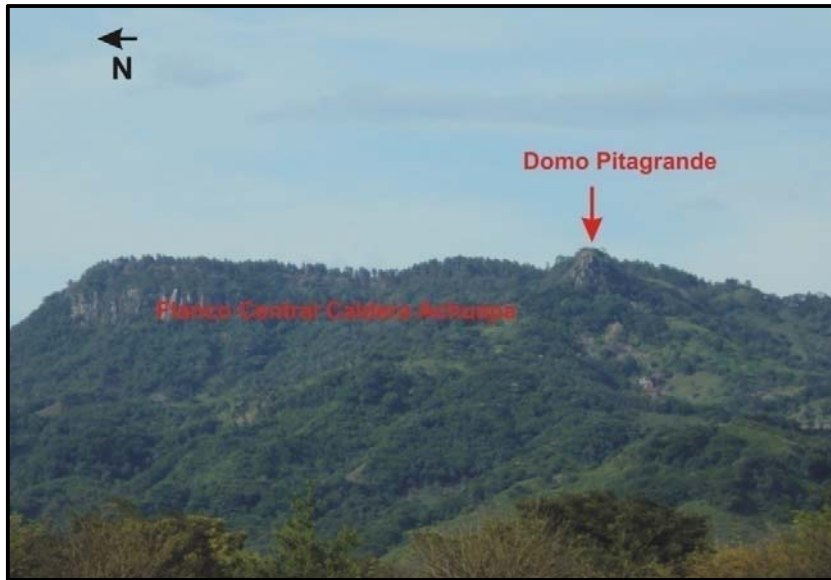


Foto 66. Domo Pitagrande (N1445500-E546000), emplazado en el escarpe central de la Caldera Achuapa.

La actividad culminó con otra resurgencia, expuesta en la comunidad Agua Zarca (N1446500-E541200), donde se observa un escarpe con pendientes mayores de 30°, sin embargo carece de domos, por lo que se plantea que durante esta última actividad se dio el desplazamiento del Arco Volcánico Terciario, en dirección oeste, hasta ocupar su posición actual.

Esta estructura, ha creado las condiciones necesarias para el emplazamiento de depósitos minerales, entre las que estacan los sistemas hidrotermales trabajando como celdas verticales convectivas, removiendo cantidades apreciables de metal traza de las rocas, para formar una concentración (Lilljequist & Hodgson, 1983).

Evidencia de ello, son las vetas, vetillas y venas encontradas en el área, dentro de las cuales circuló el fluido hidrotermal, además en las secciones delgadas analizadas para esta área, se encontró gran cantidad de minerales de alteración hidrotermal, tanto en rocas dacíticas, como en las tobas dacíticas, entre ellos los más comunes fueron: Cloritización, zeolitización, carbonatización y epidotización, la mayoría de las cuales sustituían a los minerales ferromagnesianos o bien estaban emplazados en pequeñas vetillas.

6.4.2 Caldera San Juan de Limay

La Caldera San Juan de Limay (Foto 67), está localizada al norte de municipio de Achuapa, en el límite de la hoja topográfica de Achuapa y San Juan de Limay, cuyo eje mayor es de 22 km y su eje menor de 9 km, cuyo flanco norte se extiende hasta el área norte de San Juan de Limay, siendo este denominado por Schliz (2009), como Caldera La Fraternidad.

Esta estructura volcánica fue creada por el ascenso magmático a través de fallas N-S y posteriormente deformada por fallas de dirección NE-SW y NW-SE.

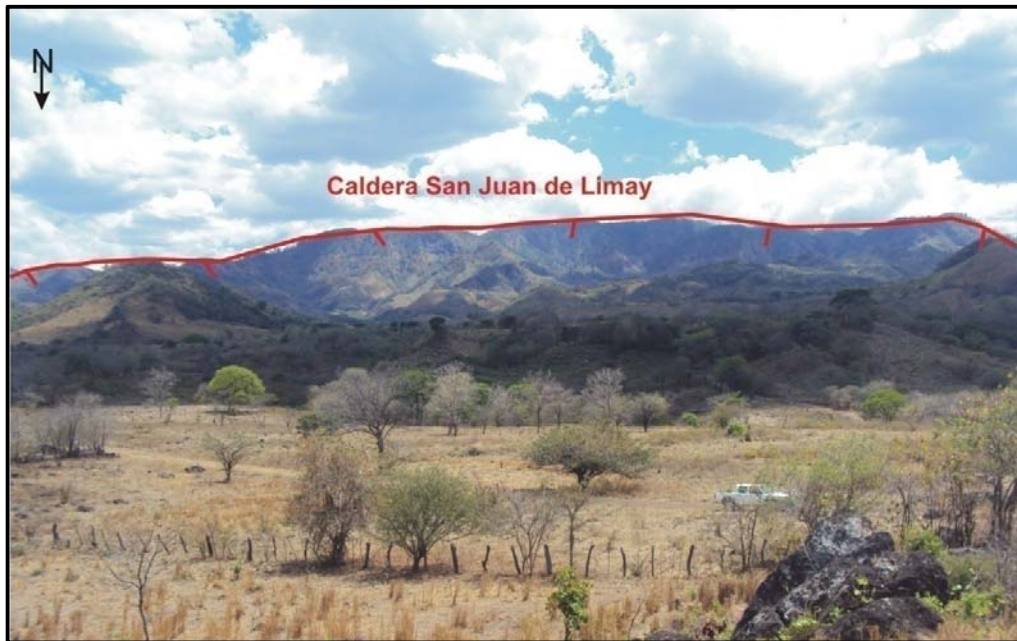


Foto 67. Escarpe norte de la Caldera San Juan de Limay.

Se trata de una gran estructura volcánica, relacionada a una intensa actividad volcánica, con emisiones voluminosas de rocas dacíticas, seguida por flujos piroclásticos que dieron lugar a extensos depósitos de tobas dacíticas en el área.

Una de las evidencias más claras de esta estructura, es la presencia de un domo riolítico intracratérico, ubicado en el flanco suroeste de la caldera (Cerro Morroñoso, N1451091-E541483).

6.4.3 Caldera El Guaylo

La Caldera El Guaylo (Foto 68), es una antigua estructura volcánica ubicada en la comarca El Guaylo, cuyo diámetro alcanza cerca de los 8.5 km en su eje mayor y 7 km en su eje menor, con una pendiente que varía de 25° a 30°, su elevación máxima es el Cerro Gigante con 641m.s.n.m. (N1450995-E539000) y su origen está relacionado al ascenso de magma a través de fallas N-S, las que también crearon características peculiares en esta caldera.



Foto 68. Escarpe noroeste de la Caldera El Guaylo, Loma Machimbo (N1452500-E532100).

En la figura 5, se puede observar claramente las zonas de colapso de las calderas y la morfología del domo en aguja El Guaylo, originado por el ascenso y enfriamiento brusco de lava riolítica muy viscosa, la cual fue empujada hacia la superficie como consecuencia de una renovada actividad magmática.

Se sugiere que esta caldera es el resultado de esfuerzos extensivos proporcionales al esfuerzo principal mínimo σ_3 , de dirección preferencial E-W, esta además, es deformada por fallas regionales de dirección NE-SW, E-W y NW-SE.

También se propone que las calderas descritas anteriormente, pertenecen a un Arco Volcánico más antiguo que el que dio origen a estructuras volcánicas de menor extensión, emplazadas a través de fallas NE-SW y posteriormente rotadas en sentido horario por fallas correspondientes a la última fase de fallamiento en dirección NW-SE.

Estas estructuras volcánicas son explicadas a continuación:

6.4.4 Caldera Piedras Gordas

Corresponde a una estructura volcánica ubicada al SE del municipio de Achuapa, en la comunidad Piedras Gordas cuya elevación máxima es de 905m, en el cerro La Encantada; Posee aproximadamente 5km de diámetro en su eje mayor y 3.5km en el eje menor, con una pendiente de 35° en dirección NW (Figura 20).

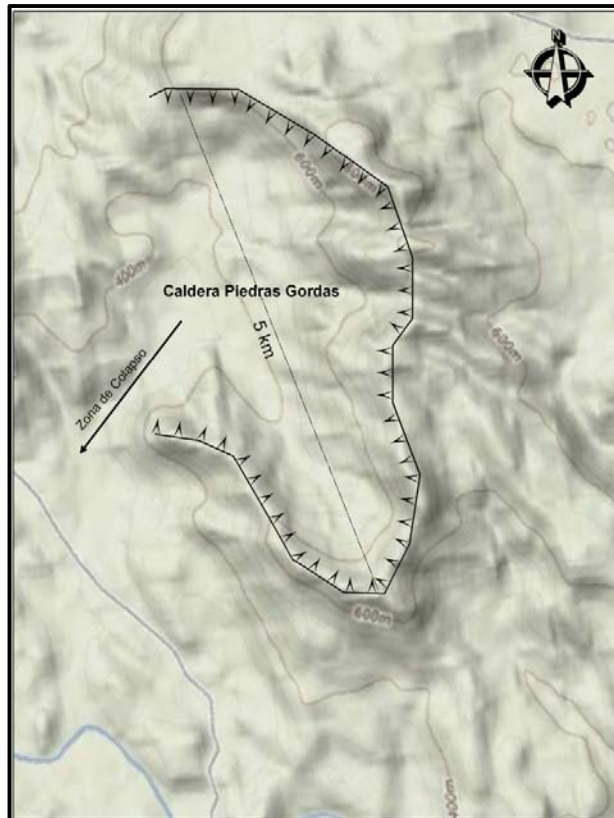


Figura 20. Representación en planta de la Caldera Piedras Gordas (N1440000-E540000).

Se trata de una caldera originada como consecuencia de un vaciado rápido de la cámara magmática localizada a poca profundidad de la superficie, mediante la generación de nubes ardientes y fracturamiento generado por el ascenso de magma y el posterior hundimiento de la estructura primitiva.

Se propone que la estructura primitiva correspondió a un estrato-volcán y que este fue el responsable de las extensas coladas de lavas andesíticas encontradas en el área de Achuapa, posteriormente debido a un vaciado abrupto de la cámara magmática este colapsó, generando la actual Caldera Piedras Gordas.

La presencia de material piroclástico fragmentario en los alrededores de esta estructura, muestran que esta estructura contribuyó a su depositación, además dentro de esta estructura se encontraron gran cantidad de vetillas de sílice emplazadas radialmente, lo que significa que probablemente esta estructura esté relacionada a zonas de mineralización.

6.4.5 Caldera Monte Frío

La Caldera Monte Frío (Foto 69), se localiza al oeste del municipio de Achuapa, en la comarca Monte Frío, de donde se deriva su nombre, posee un diámetro aproximado de 6 km en su eje mayor y 4 km en su eje menor, con una pendiente que alcanza los 25°, su elevación máxima es de 400m.s.n.m, en la loma La Minita.



Foto 69. Escarpe noreste de la Celdera Monte Frío, Loma La Todona (N1441900-E5355500).

Su origen está ligado al ascenso magmático a través de fallas de orientación NE-SW, ulteriormente deformada por fallas de dirección NW-SE.

Se sugiere que la erupción principal, fue la responsable de la expulsión de las coladas de lavas andesíticas encontradas en esta área y posteriormente, como resultado del vaciado de la cámara magmática, colapsó.

Actualmente, debido a los procesos de erosión es difícil identificar y reconstruir la forma de la estructura original, sin embargo se pudieron reconocer parte de sus flancos.

La mineralización es evidente en el Loma La Todona (N1441900-E5355500), sitio donde fue muestreado por MEDE-MINAS (1996), encontrando potencial minero de oro, plata y cobre, en vetas localizadas en dirección NW-SE, siendo estas las responsables del emplazamiento de esta estructura.

6.4.6 Caldera El Danto

La Caldera El Danto (Foto 70) se ubica en la parte central del área de estudio, cuya elevación máxima se encuentra en el Cerro Matapalo con 300 m.s.n.m, su diámetro mayor mide 6 km y su eje menor 5 km, con un ángulo de pendiente que varía de 15° a 25°.

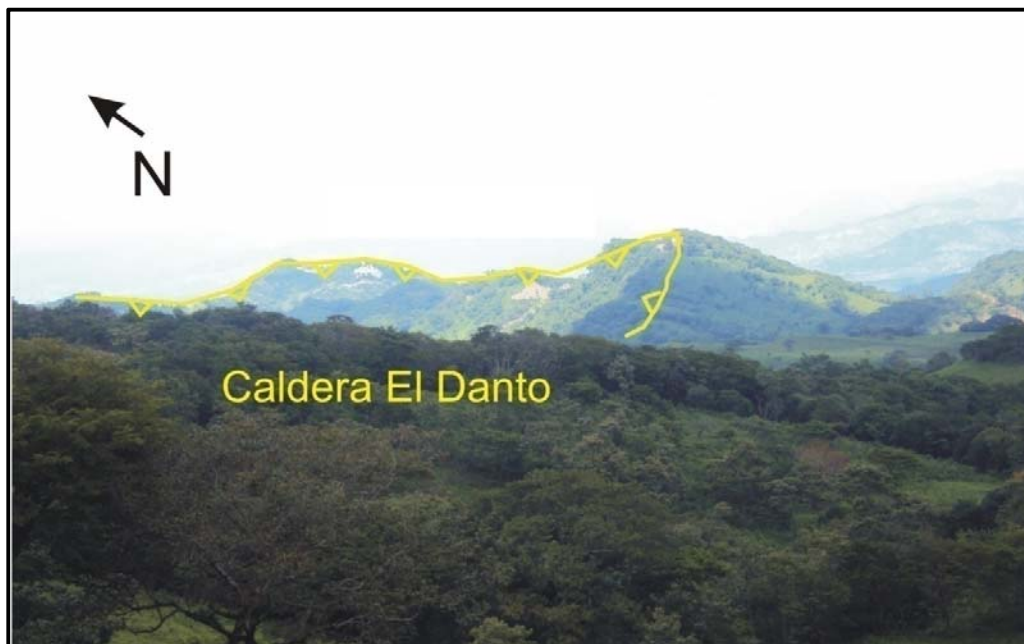


Foto 70. Flanco noreste de la Caldera El Danto, Cerro El Capote (N1448500-E526500).

Se considera que esta estructura fue originada por el ascenso de magma andesítico, a través de fallas NE-SW, cuyo esfuerzo extensional estaba dirigido hacia el N55°W, por lo cual se observa la zona de colapso dirigida en esa misma dirección.

6.4.7 Caldera La Danta

Localizada al noreste del municipio de Somotillo y al norte de la comunidad Los Limones, posee un diámetro aproximado de 4 km en su eje mayor y 2.5 km en su eje menor, sus pendiente varían de 15° a 25° y su elevación máxima es el Cerro La Cimarrona con 370 m.s.n.m.

Fue propuesta anteriormente por Velásquez (2008) y Rivera (2006), como una estructura semi-circular asociada a rocas andesíticas, esto concuerda con las rocas encontradas en el área durante la etapa de campo, sin embargo, en este estudio se propone como caldera, debido a la presencia de características peculiares, como la presencia de un domo riolítico central (Foto 71), suelos alterados hidrotermalmente y flujos piroclásticos en áreas cercanas a esta.



Foto 71. Suelos alterados por soluciones hidrotermales, El Tejar (N1452950-E514980) y domo riolítico intracratérico, Cerro El Corralito (N1453500-E515200).

El domo encontrado en el centro de la caldera, permite suponer que la actividad magmática continuó aun después del colapso de la estructura.

Este colapso, fue generado como consecuencia de una erupción paroxísmica del cráter central, por esta razón se le atribuye la mayor parte de las coladas de lava andesítica y tobas andesíticas encontradas en Somotillo.

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN

Nicaragua se encuentra regida por la continua interacción de la Placa de Cocos que subduce de forma oblicua a la Placa Caribe a través de la Fosa Mesoamericana, cuya profundidad aproximada es de 4 km (Case et al, 1984).

La Placa de Cocos se hunde debajo del margen oeste de la Placa Caribe, con una inclinación que fluctúa de 25° en la parte superficial a 84° en zonas profundas (Burbach, 1984 y Protti, 1993).

De acuerdo con Ehrenborg (1996), el proceso de subducción de estas placas durante el Terciario, generó el arco volcánico del Coyoil con un intenso vulcanismo durante el Mioceno Superior.

Evidencias de este intenso vulcanismo se exponen en el área de Somotillo y Achuapa, encontrándose extensas capas de rocas originadas por la depositación de coladas de lava de composición andesítica y dacítica, a las que le continuó una actividad volcánica más violenta originando la emanación de grandes columnas de material piroclástico, eruptados a través de los aparatos volcánicos centrales, generando así extensos depósitos de tobas de composición dacítica y andesítica, brechas e ignimbritas. Este material fue depositado por la erupción violenta de las calderas Achuapa, San Juan de Limay, El Guaylo y La Danta, las que a su vez resurgieron y formaron domos centrales de composición riolítica y dacítica.

Estas calderas pueden ser relacionadas a los escudos estratiformes propuesto por Ehrenborg (1996), para la parte central de Nicaragua y son las posibles fuentes de la unidad de andesitas y brechas ubicadas en el área de Somotillo, principalmente.

En concordancia con Lilljequist & Hodgson (1983), se cree que un proceso de subducción ocurrido durante el Terciario, ocasionó desplazamientos de la actividad magmática y volcánica del Este hacia el Oeste; sin embargo, difiere del autor, en que las estructuras se alineaban en arcos curvos, sino que se desplazaban a través de estructuras paralelas a la zona de subducción durante el Terciario.

Weinberg (1992), propone que Nicaragua se ubica en una zona de antigua convergencia entre la Placa de Cocos y la Placa Caribe, y relaciona las características estructurales del país con la formación del Arco Volcánico del Coyoil.

En su estudio propuso que el Territorio Nicaragüense se encuentra afectado por tres principales fases de deformación, como sigue:

- 1- La primera fase ocurre en el Mioceno Superior, creada por esfuerzos de compresión NE-SW, dando lugar a pliegues NW y fracturas de tensión NE.
- 2- La segunda fase se da durante el Plio-Pleistoceno, aquí $\delta 1$ y $\delta 3$ se generan a lo largo de esfuerzos compresionales NW-SE, los cuales dieron origen a la formación de la Depresión de Nicaragua.
- 3- La última fase es aún activa, esta creó la rotación en sentido horario de esfuerzos $\delta 1$ y $\delta 3$, mediante esfuerzos de compresión N-S, originando la formación de la estructura pull-apart del graben de Managua.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto por Weinberg, se sugieren cuatro principales fases de fallamiento, descritas a continuación:

- 1- La primera fase de fallamiento está relacionada a fallas con orientación N-S, limitando a la Depresión Tectónica de Achuapa. Durante esta fase se formaron grandes estructuras volcánicas tipo calderas, definidas en este estudio como las calderas de: Achuapa, San Juan de Limay y El Guaylo; de acuerdo al análisis de las rosetas realizadas con mediciones de fracturas en el campo se determinó que el esfuerzo principal máximo ($\delta 1$) que genera esta fase está dirigida N-S con una dirección de acortamiento $\delta 3$ hacia el N80°E, esta fase corresponde a la tercera fase de deformación propuesta por Weinberg, de igual manera relacionada con la rotación horaria de los esfuerzos de compresión y extensión.
- 2- La segunda fase ocurre en dirección NE-SW, la cual permitió la formación de estructuras volcánicas de menor dimensión con respecto a las originadas en la fase anterior, estas se dan principalmente en el área de Somotillo y se presentan formando pequeñas calderas de subsidencia; el fallamiento creó las condiciones necesarias para el emplazamiento de las estructuras caldéricas antes mencionadas, donde las eyecciones del magma salieron a la superficie por medio de fracturas preexistentes, cuya dirección predominante se da al N60°W, perpendiculares a la dirección del esfuerzo principal máximo $\delta 1$ al N30°E; esta fase concuerda con lo postulado por Mc. Birney & Williams (1965), quienes determinaron que durante las fases finales del primer ciclo de actividad ígnea del Arco Volcánico del Coyo, se generaron fracturas de tendencia noreste, a través de las cuales se emplazaron estructuras volcánicas.

- 3- La tercera fase corresponde a fallas orientadas E-W, estas fallas son las responsables de la deformación de las estructuras lineales que constituyen las fases anteriores, desplazándolas con un sentido lateral izquierdo e implican la rotación anti-horaria de las calderas emplazadas en dirección NE-SW. La dirección del esfuerzo principal máximo σ_1 , en esta fase está dirigida E-W y la dirección de esfuerzo principal mínimo se dispone en dirección N-S, mostrando estar regida por los esfuerzos de extensión ocasionados por las fallas N-S.
- 4- La última fase se encuentra dirigida NW-SE, esta presenta tres sub-fases con una rotación anti-horaria de los ejes de deformación tectónica, a esta última fase se le atribuye la deformación y ruptura de los flancos de las calderas, originando zonas de colapso orientadas al NW y generando intensas zonas de cizalla en las rocas volcánicas del área, en esta fase σ_1 , que pertenece a esfuerzos de compresión se ejerció en una dirección preferencial N40°W, por lo que σ_3 se dio en una dirección N35°E.

Del análisis estructural realizado, se pudo comprobar, que todas las fases de fallamiento están constituidas por fallas regionales segmentadas, cuyas características muestran haber estado regidas por un movimiento de falla normal, algunas de las cuales también poseen una componente lateral derecha, la mayoría de las fallas exponen geometría en echelón.

En concordancia con Hodgson (1971), las áreas donde se determinaron estructuras caldéricas, están ligadas a depósitos metalogénicos; esta aseveración se obtuvo a partir de la correlación de estudios anteriores con los datos obtenidos de los análisis estructurales del área de estudio.

De acuerdo con Rodríguez, D. (1998), las estructuras mineralizadas han sido dislocadas por fallas normales NW-SE, formándose varios segmentos a lo largo del área de estudio, siendo una característica importante, la ocurrencia de las principales vetas de cuarzo en dirección NE, similar al sistema de fallamiento regional, perpendicular a la zona de subducción.

También, en el área de estudio, existen numerosos cuerpos plutónicos que intruyen a las rocas volcánicas expuestas en el área, estos corresponden al menos a tres generaciones de intrusiones, las cuales varían en composición desde granitos y granodioritas a cuarzodioritas, que afloran en dirección preferencial NW-SE, en disposición paralela a la zona de subducción, sugiriendo estar relacionados a la última fase de deformación tectónica del área de estudio.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

En el área de estudio se determinaron nueve Unidades Geológicas las cuales son descritas de la más antigua a la más reciente, como son: Unidad de Andesitas (An), Unidad de Tobas andesíticas (Tan), Unidad de Brechas andesíticas (Br), Unidad de Dacitas (Da), Unidad de Tobas dacíticas (Td), Unidad de Ignimbritas dacíticas (Id), Unidad de Riolitas (R), Unidad de Intrusivos la que se divide en: Sub-unidad de Cuarzodiorita (Qzd), Sub-unidad de Granodiorita (Gd), Sub-unidad de Granito (G); Culminando con la Unidad de Depósitos Aluviales.

La composición de las rocas volcánicas e intrusivas del área generalmente varía de intermedia a ácida.

La exposición de rocas piroclásticas, es atribuida a un intenso vulcanismo, ocurrido durante el Terciario, a través de grandes estructuras caldéricas denominadas: Caldera Achuapa, Caldera San Juan de Limay y Caldera El Guaylo, emplazadas dentro de la Depresión Tectónica de Achuapa, formada por fallas paralelas, originadas en la primera fase de fallamiento propuesta.

Geomorfológicamente el área está conformada por seis Unidades esenciales como sigue:

Unidad de Origen Denudacional (D3), originada como consecuencia de los procesos erosivos en la superficie, Unidad de Origen Estructural (S), Sub-unidad de Mesas (S5), Sub-unidad de Domos (S10), caracterizada por estar regidas bajo la presencia de fallas regionales y locales en el área; Unidad de Origen Volcánico (V), Sub-unidad de Coladas de Lava (V9), Sub-unidad de Remanentes de Caldera (V14), Sub-unidad de Colinas Volcánicas (V16), asociada a la presencia de estructuras volcánicas erosionadas y vestigios de caldera; Unidad de Origen Intrusivo (I), asociada a la intrusión magmática en rocas volcánicas, Unidad de Origen Fluvial (F), Sub-unidad de Llanuras Aluviales (F3), Sub-unidad de Terrazas Fluviales (F6), relacionada a los procesos fluviales y zonas de acumulación de material procedente de zonas más elevadas.

Estas Unidades se han formado como consecuencia del ambiente tectónico activo durante el Terciario y Cuaternario.

Las Unidad volcánica de remanentes de caldera (V14), junto con el conocimiento litológico del área, permitieron delimitar y definir, estructuras de antiguas calderas.

La Sub-Unidad de Domos (S10) y la Sub-unidad de Mesas (S5), permitieron delimitar, extensas zonas de fallas, así mismo ayudaron a comprobar la existencia de estructuras caldéricas en su vecindad.

La elaboración de rosetas de fracturas, brindó la información necesaria para conocer la dirección preferencial de los esfuerzos máximos (δ_1) y mínimos (δ_3), que dieron origen al fallamiento superficial en el área de estudio.

De acuerdo a la Caracterización estructural realizada en el área de Somotillo y Achuapa, se determinó la existencia de cuatro principales fases de fallamiento, generadas a partir de la intensa actividad tectónica ocurrida durante el Terciario.

Estas fases fueron divididas de acuerdo a las características geo-estructurales bien definidas entre ellas, destacándose la presencia de indicadores cinemáticos.

A continuación se describen las fases de fallamiento definidas según el orden en que afectaron el área de estudio:

Primera Fase: Fallamiento en dirección N-S, limita a la Depresión Tectónica de Achuapa, cuya extensión en el área de estudio es de 18km y 7km de ancho, dando lugar al emplazamiento de inmensas estructuras caldéricas en su interior.

Segunda Fase: Fallas escalonadas en dirección NE-SW, desplazan a la Depresión de Achuapa en sentido lateral derecho, originan fallas que favorecen al emplazamiento de estructuras volcánicas menores principalmente en el área de Somotillo.

Tercera Fase: Fallas en dirección E-W, generan el desplazamiento y deformación de la caldera de Achuapa y la Depresión tectónica que la contiene en sentido lateral izquierdo.

Cuarta Fase: Pertenecce a la última fase de deformación tectónica y se caracteriza por estructuras de extensión paralelas a la fosa mesoamericana y la Depresión de Nicaragua, estas fallas se encuentran desplazando a todos los sistemas de fallas, a la depresión tectónica de Achuapa y las estructuras caldéricas emplazadas en el área.

Esta última fase a su vez se dividió en tres sub-fases, que fueron determinadas por la variación de ángulo entre ellas a medida que se acerca a la zona volcánica Cuaternaria.

Primer Sub-fase: Extensas fallas regionales sub-paralelas, emplazadas en dirección preferencial N80°W.

Segunda Sub-fase: Corresponden a extensas fallas sub-paralelas, con geometría en echelón derecho, emplazadas en dirección preferencial N45°W, las cuales se exhiben principalmente en la parte oeste del área de estudio, indicando que su movimiento es regido por la tectónica que afecta a la Depresión de Nicaragua.

Tercera Sub-fase: Corresponden a la última fase de deformación tectónica en el área de estudio, se trata de extensas fallas sub-paralelas, con geometría en echelón izquierdo, emplazadas en dirección preferencial N20°W, expuestas principalmente en la parte central del área de estudio, las cuales están ligadas a los esfuerzos ocurridos en la zona de subducción.

La correlación de este estudio, con estudios anteriores enfocados a mineralización en el área, permitió constatar que:

Las estructuras más favorables para el emplazamiento de minerales metálicos son fallas de orientación NE-SW, NW-SE y en menor proporción fallas E-W.

Las estructuras caldéricas encontradas en el área proveen condiciones favorables para las mineralizaciones, esto se determinó por la presencia de minerales de alteración hidrotermal encontradas en las muestras analizadas.

La Unidad de andesitas (An), que corresponde a la base de la columna litológica del área de estudio, es la principal roca caja de vetas auríferas.

CAPÍTULO IX

RECOMENDACIONES

Para enriquecer el conocimiento geológico-estructural del área de estudio se recomienda:

1. Ampliar los estudios geo-estructurales en el área y elaborar estudios con métodos indirectos dirigidos a la elaboración de un modelo tectónico del área.
2. Elaborar un estudio volcanológico detallado para cada estructura caldérica encontrada en el área, con el fin de realizar un mapa de isopacas que indiquen la dirección exacta de las columnas eruptivas que dieron origen a los depósitos piroclásticos depositados en el área de estudio.
3. Efectuar análisis geoquímico y petrológico de las rocas del área para obtener un modelo de la evolución magmática durante el Terciario.

CAPÍTULO X

REFERENCIAS

1. Alvarado, G. (1990). Los relieves de las rocas ígneas: génesis, clasificación y aplicabilidad. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. Burbach, G. et al. (1984). Seismicity and tectonic of subducted Cocos Plate. Journal of Geophysical, volume (89).
3. Cas. F & Wright. J. (1998). Volcanic successions modern and ancient: a geological approach to processes, products and successions. London. First published in 1987. Second impression 1988.
4. Cepeda, L. (1986). Apuntes de Petrología Ígnea. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
5. Cosillo, A. (1986). Petrografía de rocas ígneas. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela Centroamericana de Geología.
6. Cox, K., Bell. J & Pankhurst, R. (1984). The interpretations of igneous rocks.
7. Davis, G. (1984). Structural Geology of rocks and regions. The University of Arizona
8. Dengo, G. (1962). Estudio Geológico de la Región de Guanacaste, Costa Rica. Instituto Geográfico de Costa Rica.
9. Dengo, G. (1973). Estructuras geológicas, historia tectónica y morfología de América Central. ICAITI. Guatemala.
10. Dengo, G. & Case, J. (1990). The geology of North America: The Caribbean Region. Volumen H. Colorado.
11. Denyer, P., Alvarado, G. & Aguilar, T. (2000). Historia Geológica, En Denyer, P. (2000). Geología de Costa Rica.
12. Donnely et al. (1990). Northern Central America, the Maya and Chortis blocks, in Dengo, G. and Case, J.E. Ed. The Caribbean Region: Boulder, Colorado, Geological Society of America.
13. Ehrenborg, J. (1996). Una Nueva Estratigrafía de Rocas Volcánicas Terciarias en la Región Central de Nicaragua. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Luleå.

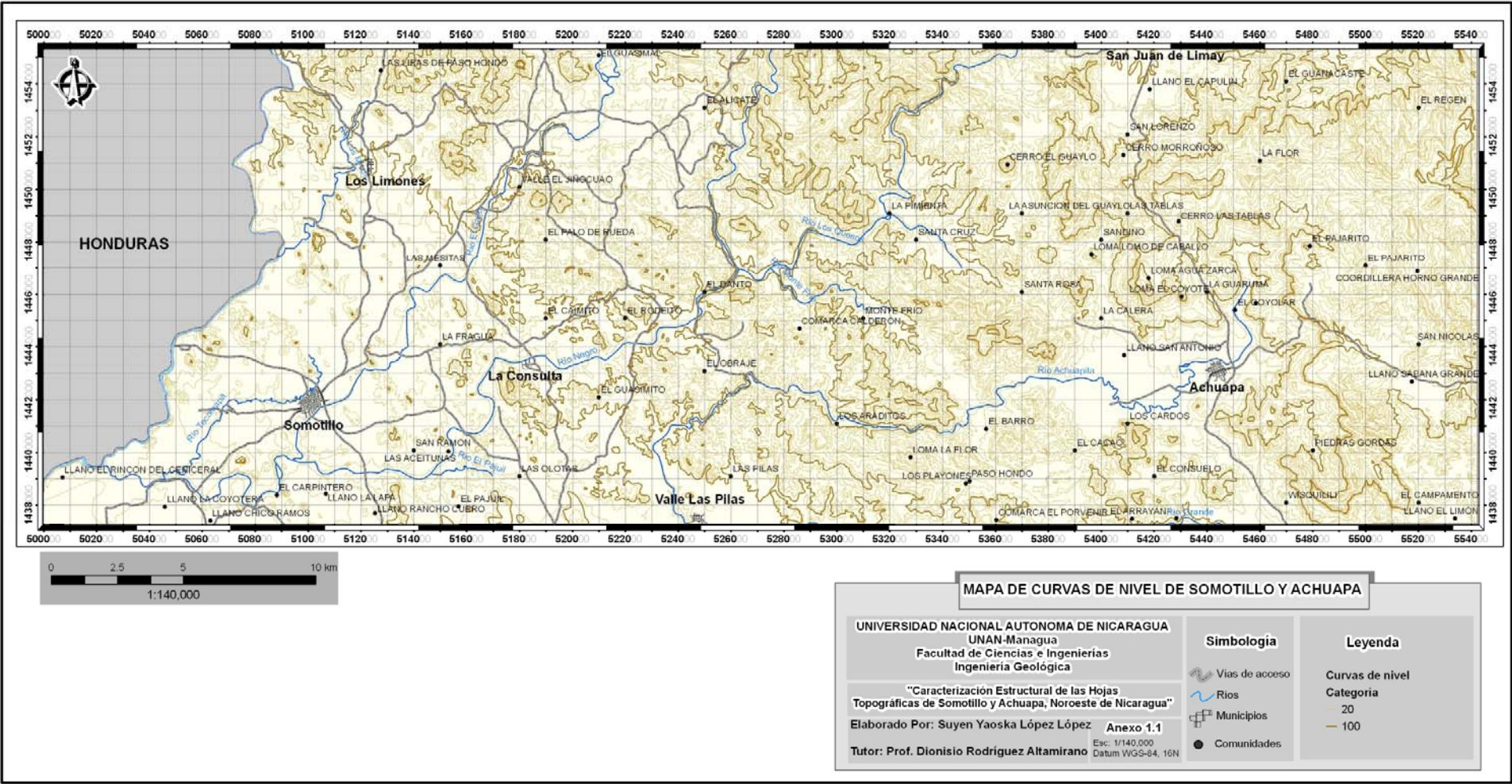
14. Elming, S., Widenfalk, L. & Rodríguez, D. (1998). Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.
15. Espinoza, F. (2004). Estudio Geológico en el Área de Achuapa y sus alrededores, al NW de Nicaragua. Tesis de grado. Facultad de Ciencias e Ingenierías. CIGEO/UNAN- Managua.
16. Espinoza, T & Darce, M. (1995). Informe preliminar del Distrito Minero San Juan de Limay; Empresa minera de occidente, S.A. Gerencia de Exploración y Reconocimiento del potencial aurífero.
17. Franco, D & Morales, S. (1987). Geología Estructural: Editorial Pueblo y Educación.
18. Frischbutter, A. (2002). Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images. Geofísica Internacional: Vol. 4, N° 002, p. 87-102.
19. Gamond, J. (1987). Bridge Structures as Sense of Displacement Criteria on Brittle Faults. Journal Structure Geology.
20. García-Palomo A. (2002). Vulcanismo y Geología Estructural de la Región de Apán. Edos. de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México. Tesis de Doctorado Ciencias Vulcanología. Universidad Autónoma de México, México, DF.
21. Ghosh, S. (1993). Structural Geology, Fundamentals and modern developments. Department of Geological Sciences, Jadavpur University, Calcuta, India.
22. Hodgson, G. (1971). Geología y anotaciones mineralógicas de la Planicie del Noroeste y de la Pre-cordillera Occidental. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 13. Managua.
23. Hodgson & Williams (1972). Mapa Geológico preliminar de Somotillo y Achuapa.
24. INETER (1988). Mapa Topográfico de Somotillo (2855-III) y Achuapa (2855-II).
25. Kuang, J. (1971). Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 10. Managua.
26. Madrigal & Rojas (1980). Geomorfología. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Básicas, Escuela Centroamericana de Geología. Cuarta Edición.
27. McBirney, A., Williams, H. (1965). Volcanic History of Nicaragua. University of California.

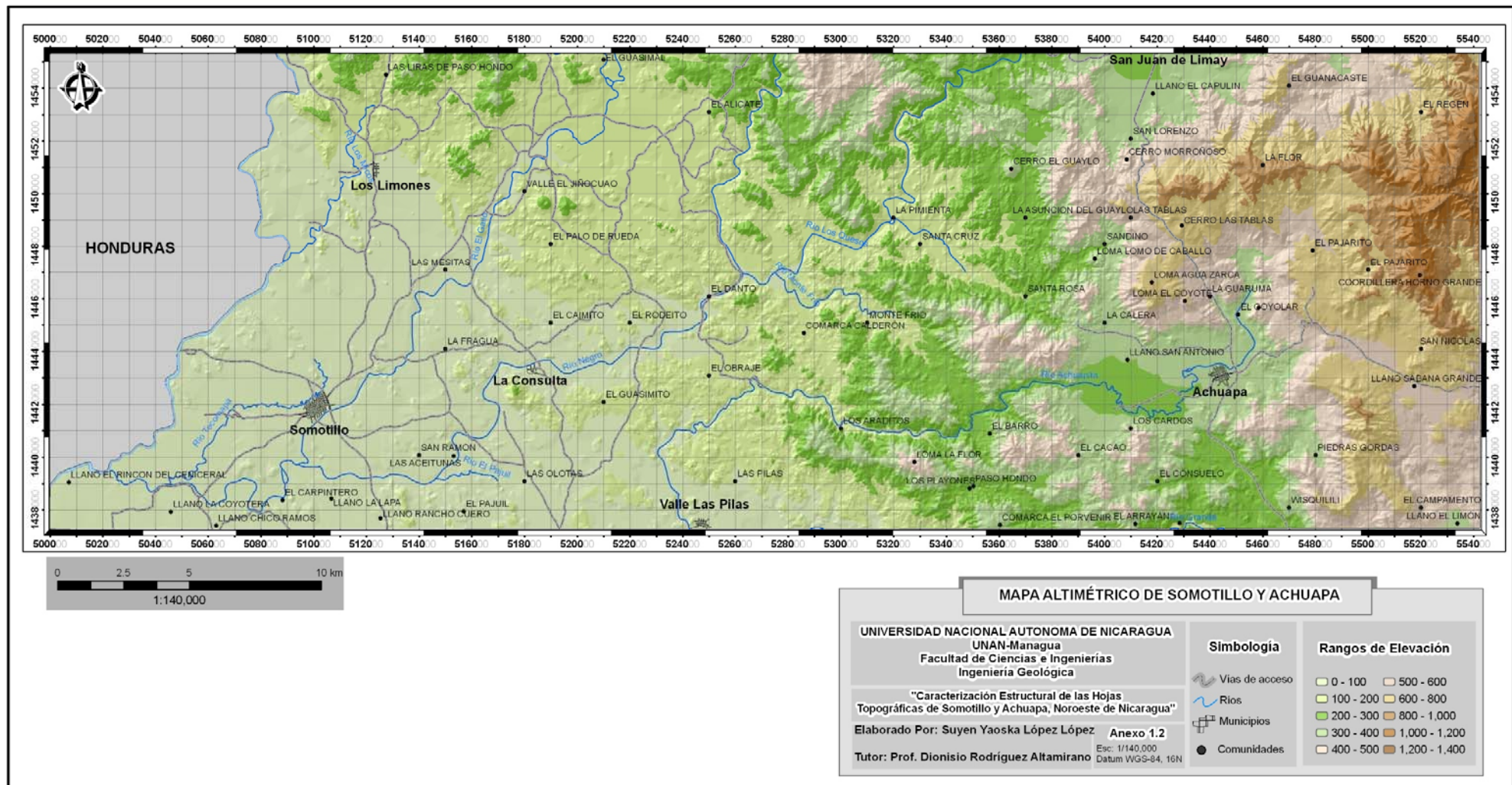
28. McBirney, A. & Williams, H. (1979). Volcanology. Freeman, Cooper & Co., San Francisco California.
29. McPherson, D. (1981). Petrología de las rocas ígneas, Santiago de Cuba: Editorial Oriente.
30. MEDE-MINAS (1996). El potencial minero (metálico) y el catastro de las estructuras mineras de Nicaragua, Ministerio de economía y desarrollo.
31. Parson Corporation. (1972). The geology of western Nicaragua. Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project.
32. Park, R. (1983). Foundations of structural geology. Reader in Geology, University of Keele, UK.
33. Protti, M. (1993). Correlation between the age of subducting Cocos Plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica.
34. Ramos, H. (2004). Estudio Geológico y de inestabilidad de laderas al Norte del poblado de Achuapa, Departamento de León, Nicaragua.
35. Rivera, F. (2006). Cartografía Geológica de Cinco Pinos y sus alrededores, NW de Nicaragua.
36. Rodríguez, D. (1994). Geology and geochemistry of igneous rocks associated with minerals deposits in Northeastern Nicaragua, Central América.
37. Rodríguez, D. (1998). Depositos minerales y provincias metalogenéticas en Nicaragua. En: Investigación Geocientífica en Nicaragua Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.
38. Schliz, M. (2009). Interpretación Geoestructural de las hojas topográficas de Cinco Pinos y San Juan de Limay, en el NW de Nicaragua.
39. Sibson, R. (1990). Faulting and fluid flow, in Nesbitt, B.E: Ed. Short course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust.
40. Sparks, W. (1972). Geomorphology: Geographies for Advanced Study. University Lecturer in Geography. 2nd. Edition
41. Tolson, G. (1996). Un Catalogo de Indicadores Cinemáticos en Rocas Cizalladas. Universidad Nacional Autónoma de México, Depto. de Paleomagnetismo.

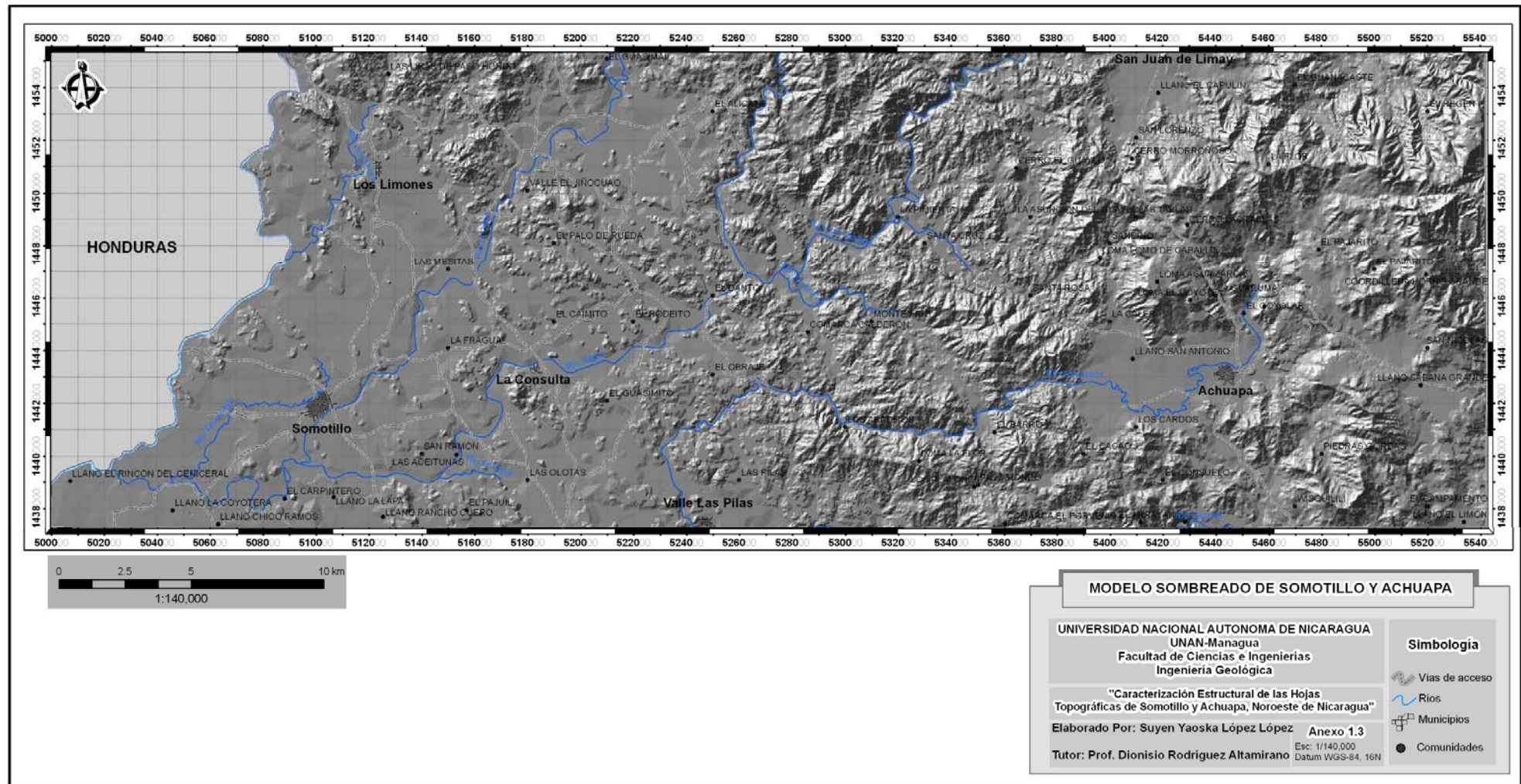
42. Van Zuidam, R. (1986). Aerial Photo interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping.
43. Velásquez, G. (2006). Cartografía Geológica del NE de Somotillo, Chinandega. Tesis de grado. Facultad de Ciencias e Ingenierías. CIGEO/UNAN- Managua.
44. Venable, M. (1994). A geologic, tectonic and metallogenic evaluation of Siuna Terrane. The University of Arizona, PhD. Thesis.
45. Weingber, R. (1990). The Neogene structural development of Western Nicaragua. SGAB/UNAN/SAREC report, URAP 90002.
46. Weinberg, R. F., 1992. Neotectonic Development of Western Nicaragua. En: Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.

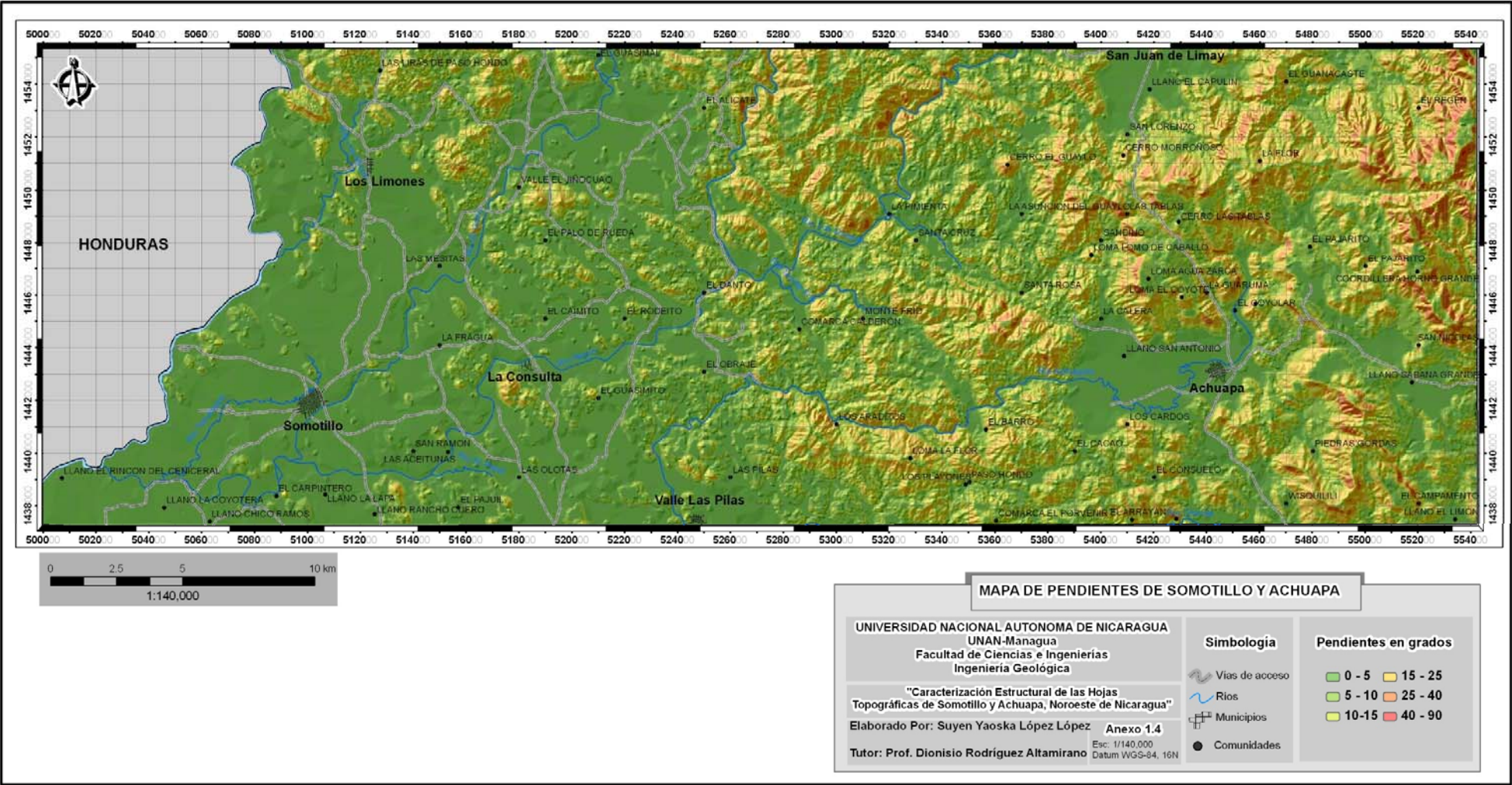
Anexo

Anexo 1. Mapas Complementarios









Anexo 2. Descripción Macroscópica de las rocas de Somotillo y Achuapa.

Coordenadas	Localización	Color			Minerales			Composición			Textura			Origen			Intrusiva			Extrusiva			Piroclásticos		
		Oscuro	Intermedio	Claro	Félsicos	Máficos	Ambos	Ácida	Intermedia	Básica	Afanítica	Fanerítica	Porfírica	Plutónica	Hipabisal	Extrusiva	Granito	Granodiorita	Cuarzodiorita	Andesita	Dacita	Riolita	Toba dacítica	Toba andesítica	Ignimbrita
N1451400 E512100	La Ceibita	x				x			x				x			x				x					
N1453000 E521100	Río El Gallo			x	x			x				x		x			x								
N1452400 E519400	El Papalón			x			x		x			x		x					x						
N1454600 E509700	Paso Los Zanates	x				x			x				x			x				x					
N145400 E512600	Paso Hondo		x				x		x		x					x								x	
N1444300 E519100	El Caimito		x			x			x				x			x				x					
N1454900 E518900	El Guasimal			x	x			x				x		x				x							
N1446900 E516200	Las Mesitas		x				x		x		x					x								x	
N1454200 E522100	Chaguite Seco			x	x			x				x		x				x							
N1453500 E524300	Mata de Cenícero			x	x			x				x		x			x								
N1446700 E519200	Cerro La Pitahaya			x			x		x			x		x					x						
N1439600 E511900	Caldera La Danta		x			x			x				x			x				x					
N1443200 E518600	La Consulta		x				x		x				x			x					x				
N1449100 E524200	Llano la Chaperna		x			x			x				x			x				x					
N1444900 E524700	El Obraje		x				x		x				x			x					x				
N1451100 E508800	Lugar El Cuadro		x			x			x				x			x				x					
N1438200 E505700	Sotaca		x			x			x				x			x				x					
N1442300 E516400	San Miguelito		x			x			x				x			x				x					
N1452000 E513400	Cerro El Burro		x				x		x				x			x					x				
N1451100 E514400	El Ojo de agua				x	x		x			x				x							x			
N1443324 E545566	Valle Río Arriba		x				x		x				x			x					x				
N1446761 E542400	Loma Agua Zarca		x				x		x		x					x							x		

N1439394 E527878	Río El Tule		x			x			x			x				x									x		
N1444099 E547079	Santa Teresa		x				x		x			x				x										x	
N1444099 E548040	Cerro La Cabrera		x				x		x			x				x										x	
N1446824 E542274	Lugar Agua Zarca		x				x		x			x				x											x
N1448900 E543000	Las Tablas		x				x		x			x				x										x	
N1438068 E531482	Valle El Cangrejo				x	x			x				x		x				x								
N1449900 E541900	Cerro El Portillo	x					x			x				x			x								x		
N1438096 E512599	El Puma	x					x			x				x			x								x		
N1453500 E515000	Cerro El Corralito					x	x			x				x				x								x	
N1453396 E515878	Cerro Cimarrona	x					x				x				x			x							x		
N1443043 E545913	Sabana de la villa		x					x		x			x				x									x	
N1455140 E541690	Dique Las Lajas	x					x			x				x			x								x		
N1438819 E534905	Los Playones				x	x				x				x			x										
N1437300 E543100	Río Grande				x	x			x				x			x			x								
N1454591 E512734	Las Liras de Paso Hondo		x					x		x				x				x									x
N1445415 E531975	Caldera Monte Frío	x					x			x				x			x								x		
N1455000 E549000	Caldera San Juan de Limay		x					x		x				x				x							x		

Anexo 3. Clasificación Geomorfológica propuesta por Van Zuidam, 1975.**

Código	Unidad	Sub-unidad	Características Generales
D3	Origen Denudacional	Colinas Denudacionales	Colinas escarpadas a muy escarpadas. Topografía montañosa. Moderada a severamente disectadas.
V9	Origen Volcánico	Coladas de Lava	Topografía ondulada. Pendiente ligeramente fuerte a moderadamente fuerte. Ligeramente a moderadamente disectadas.
V14		Remanentes de Calderas	Colinas con pendientes moderadas a fuertes. Moderadamente a severamente disectadas.
V16		Colinas Volcánicas	Colinas con pendientes suaves a inclinadas. Topografía ondulada.
S5	Origen Estructural	Mesas	Topografía ondulada cercana a la horizontal, pendientes fuertes a moderadas, con pendientes abruptas en la zona de escarpe.
S10		Domos	Colinas con pendiente moderada a fuerte. Moderadamente disectados.
I	Origen Intrusivo		Cuestas con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas. Topografía abrupta.
F3	Origen Fluvial	Llanuras Aluviales	Topografía casi plana a ligeramente irregular. Inundaciones regulares a estacionales. Básicamente sujeta a la colmatación por acumulación fluvial.
F6		Terrazas Fluviales	Topografía con pendientes suaves a casi plana, de ligeramente a moderadamente disectadas

** Unidades encontradas en el área de estudio.

Anexo 4. Levantamiento estructural en el área de Somotillo y Achuapa.

Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1454406-E59533	Las Tablas	Achuapa	N-S	E	12.5	4	800 m	Normal componente lateral derecha
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	x	Conjugada	Simple	Simple	Falla Lítica	Dacitas y Tobas dacíticas	Delimita el flanco oeste de la Depresión Tectónica de Achuapa	
Harina		Perpendicular	Paralela	Echelón	Estructuras R y P			
		Compleja	Sub-paralela	Ala	Sigmoides			
			Relay	Bifurcada	Clastos Rotados			
			Echelón	Cola de Caballo	Estructuras Lunares			
			Abanico		Estrias			
			Anastomado	x	Fracturas conjugadas			
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1455551-E546001	El Guanacaste	Achuapa	N-S	W	17	7	500m	normal
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha		Conjugada	Simple	Simple	x	Falla Lítica	Dacitas, andesitas y tobas dacíticas	Delimita el flanco este de la Depresión Tectónica de Achuapa
Harina		Perpendicular	Paralela	Echelón		Estructuras R y P		
		Compleja	Sub-paralela	Ala		Sigmoides		
			Relay	Bifurcada		Clastos Rotados		
			Echelón	x	Cola de Caballo	Estructuras Lunares		
			Abanico			Estrias		
			Anastomado			Fracturas conjugadas		

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1442100-E525000	Falla La Pimienta	Achuapa	N50°E		17.5	7	500 m - 1000 m	Lateral derecha
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	Conjugada	Simple	Simple	X	Falla Lítica	Andesita y dacita	Desplaza el flanco oeste de la Caldera El Guaylo	
Harina	Perpendicular	Paralela	Echelón		Estructuras R y P			
	Compleja	Sub-paralela	Ala		Sigmoides			
		Relay	Bifurcada		Clastos Rotados			
		Echelón	X Cola de Caballo		Estructuras Lunares			
		Abanico			Estrías			
		Anastomado			Fracturas conjugadas			
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1445300-E531500	El Guaylo	Achuapa	N45°E	45°SE	18	5	0.5 km- 1.5 km	normal
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	x Conjugada	Simple	Simple		Falla Lítica	Andesita y dacita	Deforma la parte central de la Caldera El Guaylo	
Harina	Perpendicular	Paralela	Echelón		Estructuras R y P			
	Compleja	Sub-paralela	Ala		Sigmoides	x		
		Relay	Bifurcada		Clastos Rotados			
		Echelón	Cola de Caballo	x	Estructuras Lunares			
		Abanico			Estrías			
		Anastomado			Fracturas conjugadas			
					Vetillas escalonadas	x		

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas	Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud Km		N° Segmentos	Zona de relevo		Tipo		
N1451091-E541483	Monte Frío		Achuapa		N45°E				16		4	0.5 km- 1.5 km		Normal componente lateral derecha		
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones					
Brecha		Conjugada			Simple		Simple	x	Falla Lítica		Andesita y dacita	Corta y desplaza a las calderas: Monte Frío, El Guaylo y San Juan de Limay.				
Harina		Perpendicular			Paralela		Echelón		Estructuras R y P	x						
		Compleja			Sub-paralela		Ala		Sigmoides	x						
					Relay		Bifurcada		Clastos Rotados							
					Echelón		Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
					Abanico			Estrías	x							
					Anastomado	x		Fracturas conjugadas	x							
								Vetillas escalonadas	x							
Coordenadas				Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento						Longitud Km
N1448100-E542500	La Calera		Achuapa		N40°E				23		6	0.3 km - 1 km		Lateral derecha		
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones					
Brecha		Conjugada		x	Simple		Simple	x	Falla Lítica		Dacita, andesita, toba dacítica, ignimbrita dacítica y granodiorita	Corta el margen oeste de la Depresión tectónica de Achuapa deforma y desplaza en sentido lateral derecho a las calderas de Achuapa y San Juan de Limay.				
Harina	x	Perpendicular			Paralela		Echelón		Estructuras R y P	x						
		Compleja			Sub-paralela		Ala		Sigmoides	x						
					Relay		Bifurcada		Clastos Rotados							
					Echelón	x	Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
					Abanico				Estrías							
					Anastomado				Fracturas conjugadas	x						
Coordenadas		Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud Km		N° Segmentos	Zona de relevo		Tipo	
N1446272-E544058	La Guaruma		Achuapa		N65°E				9.5		2	37 m		Lateral izquierda		
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones					
Brecha		Conjugada			Simple		Simple	x	Falla Lítica	x	Dacitas y Tobas dacíticas	Corta y desplaza a la caldera Achuapa y San Juan de Limay				
Harina	x	Perpendicular			Paralela		Echelón		Estructuras R y P	x						
		Compleja			Sub-paralela		Ala		Sigmoides	x						
					Relay		Bifurcada		Clastos Rotados	x						
					Echelón	x	Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
					Abanico			Estrías								
					Anastomado			Fracturas conjugadas	x							
								Vetillas escalonadas	x							

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1438819-E534905	Los Playones	Achuapa	N80°E	70°SE	14.5	4	1 km- 1.5 km	Normal componente lateral derecha
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	Conjugada	x	Simple	x	Falla Lítica	Tobas dacíticas, andesitas, granodiorita	Deforma y desplaza el borde sur de la Caldera Achuapa	
Harina	Perpendicular		Paralela		Echelon			
	Compleja		Sub-paralela		Ala			
			Relay		Bifurcada			
			Echelon		Cola de Caballo			
			Abanico					
					Fracturas conjugadas	x		
			Anastomado	x				
					Vetillas escalonadas	x		
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1437325-E535990	El Porvenir	Achuapa	N80°E		7	2	700 m	normal
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	Conjugada		Simple		Falla Lítica	Granodiorita y andesita		
Harina	Perpendicular		Paralela	x	Echelon			
	Compleja		Sub-paralela		Ala			
			Relay		Bifurcada			
			Echelon	x	Cola de Caballo			
			Abanico					
			Anastomado	x				
					Fracturas conjugadas	x		
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1449947-E553580	La Flor	Achuapa	E-W	N05°W	19	1		normal
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	Conjugada		Simple	x	Falla Lítica	Dacitas y tobas dacíticas	Desplaza fallas N-S y NE-SW, con un movimiento lateral izquierdo	
Harina	Perpendicular		Paralela		Echelon			
	Compleja		Sub-paralela		Ala			
			Relay		Bifurcada			
			Echelon		Cola de Caballo			
			Abanico					
			Anastomado					
					Fracturas conjugadas			

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1444095-E551669	Santa Teresa	Achuapa	E-W		10	1		normal
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	Conjugada	Simple	x	Simple	Falla Lítica	Tobas dacíticas y sedimentos aluviales	Desplaza el flanco este de la Caldera Achuapa, en sentido lateral izquierdo	
Harina	Perpendicular	Paralela		Echelón	Estructuras R y P			
	Compleja	Sub-paralela		Ala	Sigmoides			
		Relay		Bifurcada	Clastos Rotados			
		Echelón		Cola de Caballo	Estructuras Lunares			
		Abanico			Estrías			
		Anastomado	x		Fracturas conjugadas			
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1440959-E515332	El Guasimito	Somotillo	N70°W		9.5	1		
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha	x	Conjugada	Simple	x	Simple	Falla Lítica	Dacitas, andesitas y aluviones.	
Harina		Perpendicular	Paralela		Echelón	Estructuras R y P		
		Compleja	Sub-paralela		Ala	Sigmoides		
			Relay		Bifurcada	Clastos Rotados		
			Echelón		Cola de Caballo	Desplazamiento de estratos		
		Abanico				Estrías		
		Anastomado				Fracturas conjugadas		
Coordenadas	Nombre de la falla	Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1442257-E516401	El Tule	Achuapa	N65°W		18	2	1 km- 3 km	Normal componente
Zona de Falla	Arreglo	Geometría	Terminación	Indicador Cinemático	Roca que afecta	Observaciones		
Brecha		Conjugada	Simple		Simple	Falla Lítica	Andesita, dacita, brechas y granodioritas	
Harina		Perpendicular	Paralela		Echelón	Estructuras R y P		
		Compleja	Sub-paralela		Ala	Sigmoides		
			Relay		Bifurcada	Clastos Rotados		
			Echelón	x	Cola de Caballo	Estructuras Lunares		
		Abanico				Estrías		
		Anastomado				Fracturas conjugadas		

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas	Nombre de la falla		Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1444355-E515042	La Consulta		Somotillo	N75°W		26.5	3	1 km - 1.5 km	
Zona de Falla	Arreglo		Geometría	Terminación	Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones	
Brecha	x	Conjugada	Simple	Simple	Falla Lítica		Andesita, dacita, brechas y granodiorita	sirve de contacto entre rocas andesíticas y un cuerpo intrusivo granodiorítico.	
Harina		Perpendicular	Paralela	Echelón	Estructuras R y P				
		Compleja	Sub-paralela	Ala	Sigmoides	x			
			Relay	Bifurcada	Clastos Rotados				
			Echelón	Cola de Caballo	Estructuras Lunares				
			Abanico		Estrías				
			Anastomado		Fracturas conjugadas	x			
Coordenadas	Nombre de la falla		Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1446496-E513436	El Rodeito		Somotillo	N76°W		37	4	1 km - 1.5 km	normal
Zona de Falla	Arreglo		Geometría	Terminación	Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones	
Brecha	x	Conjugada	Simple	Simple	Fracturas paralelas	x	Andesitas, dacitas, brechas, tobas andesíticas y tobas dacíticas		
Harina	x	Perpendicular	Paralela	Echelón	Estructuras R y P	x			
		Compleja	Sub-paralela	Ala	Sigmoides	x			
			Relay	Bifurcada	Falla Lítica	x			
			Echelón	Cola de Caballo	Estructuras Lunares				
			Abanico		vetillas escalonadas	x			
			Anastomado		Fracturas conjugadas				
Coordenadas	Nombre de la falla		Sitio	Rumbo	Buzamiento	Longitud Km	N° Segmentos	Zona de relevo	Tipo
N1450989-E517213	El Jiñocuao		Somotillo	N70°W		38	4	1 km - 1.5 km	
Zona de Falla	Arreglo		Geometría	Terminación	Indicador Cinemático		Roca que afecta	Observaciones	
Brecha		Conjugada	Simple	Simple	x	Falla Lítica	Andesitas, dacitas y tobas dacíticas	Corta y desplaza las calderas: Piedras Gordas, El Danto y Achuapa.	
Harina		Perpendicular	Paralela	Echelón		Estructuras R y P			
		Compleja	Sub-paralela	Ala		Sigmoides	x		
			Relay	Bifurcada		Clastos Rotados			
			Echelón	Cola de Caballo	x	Estructuras Lunares			
			Abanico			Estrías			
			Anastomado			Fracturas conjugadas	x		

“Caracterización Estructural de las Hojas Topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua”

Coordenadas		Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud Km		N° Segmentos		Zona de relevo		Tipo		
N1454618-E509436		Achuapa		Achuapa		N67°W		10°SW		46.5		5		0.8 km- 1.5 km				
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta		Observaciones						
Brecha	x	Conjugada		Simple		x	Simple	x	Falla Lítica	andesita, dacita, tobas dacíticas.								
Harina		Perpendicular		Paralela			Echelón		Estructuras R y P									
		Compleja		Sub-paralela			Ala		Sigmoides									x
				Relay			Bifurcada		Clastos Rotados									x
				Echelón		x	Cola de Caballo		Estructuras Lunares									
				Abanico					Escalones									x
				Anastomado					Fracturas conjugadas									x
Coordenadas		Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud Km		N° Segmentos		Zona de relevo		Tipo		
N1445727-E507586		Somotillo		Somotillo		N40°W				11				0.5 km- 0.8 km		normal		
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta		Observaciones						
Brecha	x	Conjugada		Simple		x	Simple	x	Falla Lítica	Andesita y sedimentos aluviales								
Harina		Perpendicular		Paralela			Echelón		Estructuras R y P									x
		Compleja		Sub-paralela			Ala		Sigmoides									x
				Relay			Bifurcada		Clastos Rotados									x
				Echelón			Cola de Caballo		vetillas escalonadas									x
				Abanico					Fracturas sub-paralela									
				Anastomado					Fracturas conjugadas									x
Coordenadas		Nombre de la falla		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud Km		N° Segmentos		Zona de relevo		Tipo		
N1452166-E508666		Los Balcones		Somotillo		N40°W				7.5		1				normal		
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Roca que afecta		Observaciones						
Brecha	x	Conjugada		Simple		x	Simple		Estrías	x	dacitas, tobas andesíticas y brechas		Desplazamiento y omisión de estratos de tobas andesíticas y brechas					
Harina		Perpendicular		Paralela			Echelón	x	Estructuras R y P	x								
		Compleja		Sub-paralela			Ala		Sigmoides	x								
				Relay			Bifurcada		Clastos Rotados	x								
				Echelón			Cola de Caballo		Estructuras Lunares	x								
				Abanico					Escalones	x								
				Anastomado					Fracturas coniegadas	x								